ALTA FIDELIDAD: Micrófonos



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ORBIS
marcombo

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ALTA FIDELIDAD: Micrófonos

ORBIS
marcombo

Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-571-2 (Vol. 13)
D. L.: B. 9979-1986

Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

Printed in Spain

Hi-Fi: Micrófonos

QUE SE ENTIENDE POR ALTA FIDELIDAD

En esta parte de la obra seguiremos analizando los elementos integrantes de un sistema de audio de los llamados de Alta Fidelidad (también denominado cadena «hi-fi» por el término anglosajón de *high fidelity*), dando información, consejos y normas para el mejor conocimiento de éstos.



Los equipos de alta fidelidad son excelentes acompañantes para el tiempo de ocio. Un reproductor o magnetofón de tipo profesional para las cintas, permite la grabación y reproducción sonora durante un tiempo muy largo, con un alto nivel de calidad.

No podemos decir que todos los sistemas de audio sean de alta fidelidad, al igual que no todos los caballos son «pura sangre». Un sistema de audio será aquél que nos permita reproducir, haciéndolo llegar hasta nuestros oídos, un programa sonoro previamente preparado para ello, bien en forma de disco, cinta o cualquier otro medio.

El concepto de Alta Fidelidad nace cuando la calidad del sistema de audio alcanza o supera unas cotas preestablecidas. Son las «normas» las que dictan estas cotas y, por consiguiente, las que determinan la calidad del sistema. Estas normas, que luego veremos, responden básicamente a una sola idea: a nuestro oído debe llegar un sonido lo más parecido posible al que se generó en su origen. Esto significa que, con un sistema de alta fidelidad, se intenta que el oyente de un pasaje musical tenga las mismas sensaciones auditivas, sentado cómodamente en su casa, que si estuviera colocado en la mejor posición de la sala de audiciones en la que se grabó el programa. En resumen, una cadena de alta fidelidad debe ser capaz de reproducir un pasaje en el que se distingan los sonidos de cada instrumento, con una distribución espacial de éstos y con el timbre, tono e intensidad lo más reales que sea posible (figura 2).

Todas estas sensaciones dependerán, sin duda, del sujeto que realice la audición. Así, los parámetros que permitirán clasificar los sistemas de audio serán muchas veces subjetivos y deberemos suponer que el oyente dispone de un sistema auditivo en perfectas condiciones.

Dentro del grupo de los sistemas considerados de Alta Fidelidad existen importantes diferencias. Esto es lógico desde el momento en que se trazan unas líneas divisorias en la escala de calidad para separar los sistemas malos de los normales y éstos de los buenos y muy buenos. Los sistemas que se hallen próximos en esta escala de calidad se encontrarán también próximos en precio, aunque estén separados por estas líneas divisorias. Lo que no podemos pretender es que dos equipos distantes en dicha escala, aun con la misma denominación de Alta Fidelidad, vayan a ser de precios comparables. La práctica demuestra que en altos niveles de calidad mejorar un poco, sólo un poco, significa multiplicar el precio por dos o por más (figura 3).

Como comprobará el lector, la problemática es amplia. Esto unido a que los criterios de diseño, fabricación, venta y

elección no están, ni mucho menos, unificados, acentúa la dificultad de disponer de información simple y veraz, accesible al simple aficionado. Por ello vamos a introducirnos en este apasionante mundo aclarando algunos conceptos sobre acústica y sonido que consideramos imprescindibles e interesantes para la justa comprensión de las sucesivas lecciones.

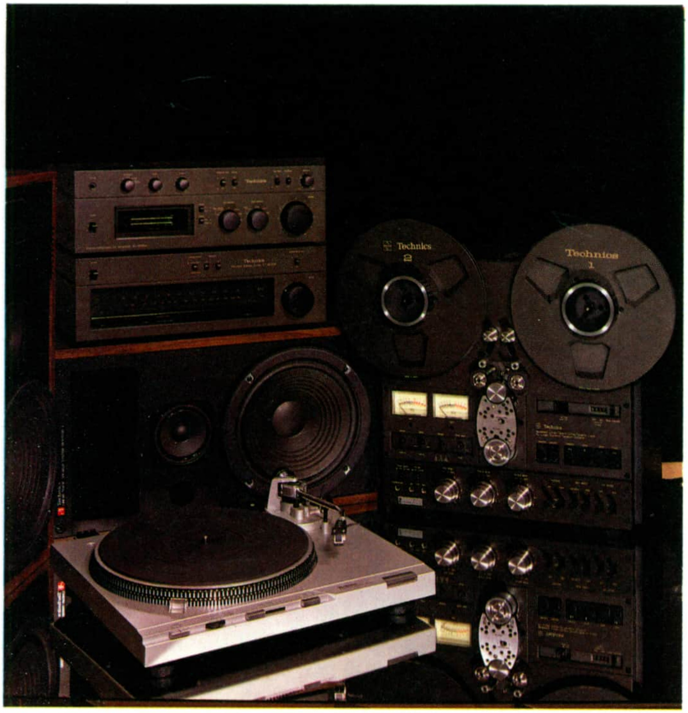


Figura 2. Hoy día se encuentran en el mercado una gran diversidad de modelos y marcas que ofrecen excelentes prestaciones y una gran calidad. (Cortesía: Technics).

NOCIONES DE ACUSTICA

La acústica o física del sonido trata fundamentalmente de la teoría de las vibraciones, de su producción, propagación y detección. Tiene por tanto múltiples disciplinas. Así, la acústica fisiológica y psicoacústica tratan del comportamiento del oído humano ante estímulos sonoros y de la

producción de éstos por nuestras cuerdas vocales; la acústica de locales estudia la absorción y el aislamiento del sonido en los edificios y locales destinados a auditorios; la acústica musical observa las leyes de las combinaciones armónicas producidas por los instrumentos musicales; la electroacústica, por fin, trata especialmente del diseño de los transductores y de los sistemas de registro y reproducción del sonido. La alta fidelidad es una aplicación de la electroacústica, pues trata de la restitución sonora de insuperable calidad y de los criterios de ponderación de la misma.

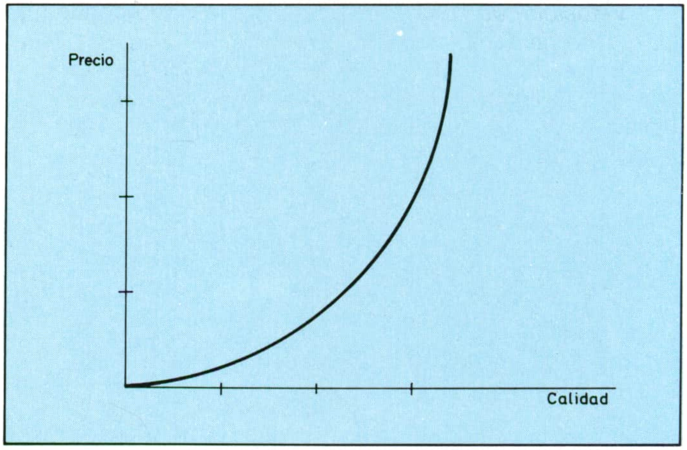


Figura 3. El precio de compra de un equipo de alta fidelidad crece exponencialmente cuando queremos pasar a un equipo de alta y muy alta fidelidad. En cualquier caso nunca es lineal la relación calidad/precio.

La vibración sonora es un movimiento de vaivén de las moléculas del aire o, lo que es lo mismo, una variación alternativa de la presión atmosférica en un lugar determinado. Estas vibraciones, al incidir sobre la membrana auditiva, producen el fenómeno denominado «audición».

Los límites de sensibilidad del oído humano a la frecuencia son, como término medio, de 20 Hz y 20 kHz respectivamente. Fuera de estos límites las vibraciones dejan de ser propiamente sonidos y pasan a ser *infrasonidos*, por debajo del umbral de sensibilidad, y *ultrasonidos*, por encima del límite superior. Normalmente estos umbrales varían con la edad. Así, mientras que un recién nacido puede sentir

frecuencias muy extremas, un adulto va perdiendo su sensibilidad auditiva progresivamente con los años.

Magnitudes fundamentales

Veamos un sencillo resumen de los parámetros más comunes en acústica:

— *Presión* (P), es la fuerza aplicada por unidad de superficie. La presión sonora (p), llamada sobrepresión o presión incremental, equivale a pequeñísimas variaciones de la presión atmosférica. La presión P es, pues, la suma de la presión atmosférica en reposo (P_0) y la sobrepresión (p). En el sistema MKS la unidad es el *pascal* (*Pa*) (figura 4).

— *Velocidad de vibración* (u), es la velocidad con la que oscilan las partículas. Se expresa en *m/s*.

— *Frecuencia de oscilación* (f), es el número de oscilaciones armónicas completas que se producen por segundo. Se expresa en *Hz*. La pulsación (ω) viene dada por dos veces la frecuencia por π ($\omega = 2\pi f$).

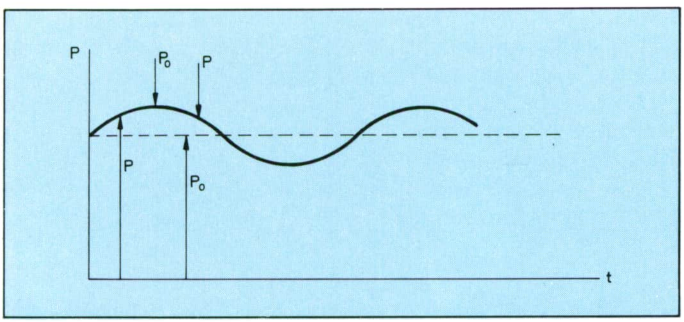


Figura 4. La variación de la presión del aire es lo que realmente produce la sensación auditiva.

— *Octava*, es el intervalo que existe entre una frecuencia cualquiera y su doble, por ejemplo, entre 20 y 40 Hz o entre 700 y 1.400 kHz.

— *Intensidad sonora* (I), es el valor, promediado en el tiempo, del producto entre sobrepresión (p) y velocidad de vibración (u).

— *Potencia sonora* (W), es la energía emitida por la fuente durante un segundo (o unidad de tiempo), y viene dada por el producto de la intensidad sonora (I) y la superficie (S),

siempre que la intensidad I sea constante en todos los puntos de la superficie envolvente de la fuente.

— *Nivel de presión sonora* (*NP*), respecto a una presión de referencia viene dado por:

$$NP = 20 \lg \frac{p_e}{p_{e_{ref}}}$$

p_e = presión eficaz.

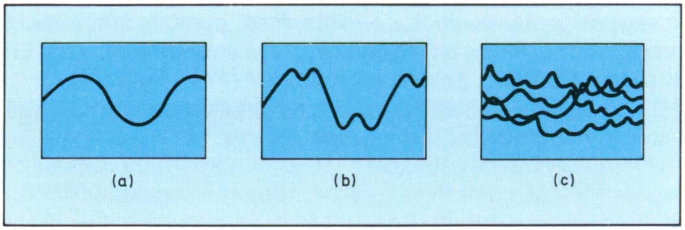


Figura 5. a) El sonido puro se puede representar como una señal senoidal; b) Un sonido compuesto es una señal periódica; c) El ruido no presenta una variación previsible, sino aleatoria.

Puesto que la presión correspondiente al umbral de audición a la frecuencia de 1 kHz es aproximadamente de $2 \cdot 10^{-5}$ pascales, se toma usualmente como presión eficaz de referencia. En este caso el resultado se expresa en dB_{SPL}.

El nivel de presión permite expresar, de forma comprimida, una relación entre dos presiones y reproduce con cierta fidelidad el comportamiento del oído humano.

— *Nivel de intensidad* (*NI*), respecto a úna intensidad de referencia viene dado por:

$$NI = 10 \lg \frac{I}{I_{ref}}$$

Para la presión de referencia anterior ($2 \cdot 10^{-5}$ pascales) la intensidad (de referencia) vale 10^{-12} w/m^2. En este caso el nivel de intensidad se expresa en *decibelios*.

— *Densidad de energía sonora* (*D*), es la suma de las energías cinética y potencial, promediadas en el espacio y el tiempo, contenida en una unidad de volumen del medio correspondiente.

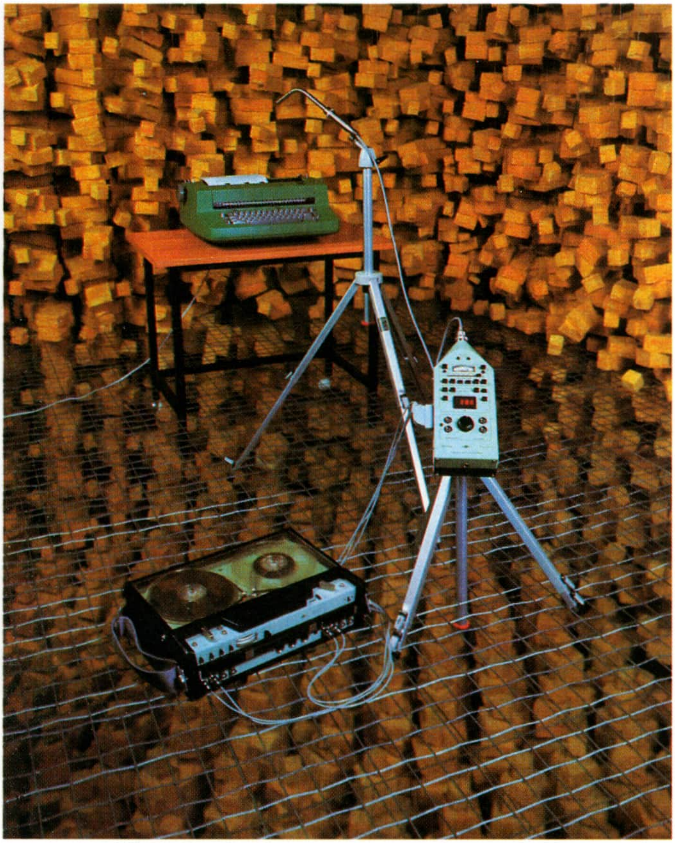
— *Sonoridad*, es la sensación que produce la intensidad sonora y permite la clasificación de los sonidos en la escala de débiles a fuertes. Se expresa en *son*.

— *Tonalidad,* es la sensación producida por la frecuencia y permite clasificar los sonidos de graves a agudos. Se expresa en *mel.*

Clasificación de los sonidos

Podemos decir que existen tres clases de sonido muy distintas: el sonido puro o tono, el sonido complejo y el ruido (figura 5).

Cuando escuchamos la vibración producida por un diapasón en oscilación libre lo que oímos es, prácticamente, un tono o sonido puro; es una vibración armónica simple o



Cámara anecoica para la medición de los parámetros y respuesta de un micrófono. El sonómetro situado en primer término controla el nivel sonoro recibido.

senoidal. El sonido que produce un instrumento musical cualquiera, dotado de tono y timbre, es una vibración compleja de carácter periódico. Analíticamente se demuestra (por el teorema de Fourier) que el sonido musical (o complejo) de carácter periódico se puede descomponer en una suma o superposición de sonidos puros, con sus correspondientes frecuencias y fases. Al de más baja frecuencia se le conoce con el nombre de primer armónico o fundamental, mientras que los otros, de frecuencias múltiplos enteros de la fundamental, son los armónicos superiores. Finalmente, si la vibración es de características rápidamente cambiantes, sin tono ni timbre definidos, nos encontramos ante un ruido. En este caso existe una superposición de sonidos que varían sin ningún tipo de periodicidad, es decir, aleatoriamente.

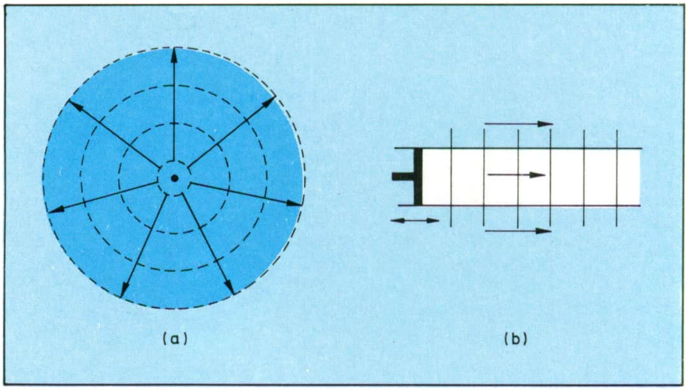


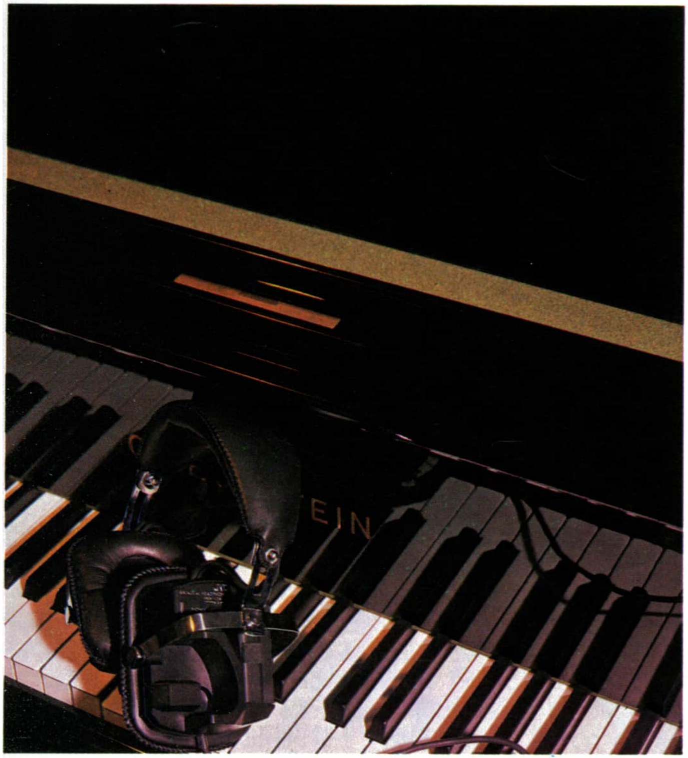
Figura 7. a) Un punto en el espacio que emita sonido, lo hará con frentes esféricos y concéntricos; b) La vibración del émbolo en un tubo produce frentes planos de ondas.

Hoy día la tecnología ha hecho posible la creación de todo tipo de sonidos complejos por superposición de tonos puros y variación del timbre. Por eso es posible encontrar en la música actual gran variedad de sonidos y recursos tales como ruido, por considerar que todo fenómeno sonoro puede tener valor musical.

Propagación del sonido

El sonido, al igual que otros muchos fenómenos físicos, se

propaga gracias a las ondas. Estas ondas, que pueden ser planas o esféricas, forman los llamados *frentes de ondas*. Se entiende por frente de onda a la superficie continua definida por todos los puntos del espacio con idéntico estado oscilatorio. Un ejemplo de onda esférica es la que produce un foco sonoro muy pequeño radiando en el espacio libre. Ejemplo de onda plana es la que se propaga en la dirección del eje de un tubo rígido con un pistón vibrante plano en un extremo (figura 7).



El sonido de un piano o cualquier instrumento es la suma de varios tonos o sonidos puros, dando como resultado un sonido complejo.

El medio habitual en el que estudiaremos la propagación del sonido es un gas: el espacio libre, el aire. Por eso es interesante observar que un gas cualquiera tiene un peso y por tanto una masa, tiene cierta elasticidad y rigidez (se

«resiste» a ser comprimido), la temperatura ambiente altera su volumen (y por consiguiente su presión), etc. Todas estas características influyen en la velocidad de propagación de las ondas sonoras. Un cambio de temperatura de 60º, por ejemplo, produce una variación en la velocidad de propagación de 40 m/s, o lo que es lo mismo, de 145 km/h.

TABLA DE COEFICIENTES DE ABSORCION

MATERIAL	ESPESOR (cm)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Algodón	–	0'04	0'07	0'13	0'22	0'32	0'35
Corcho	5	0'14	0'22	0'28	0'32	0'36	0'37
Fibra vidrio	5	0'18	0'55	0'78	0'82	0'82	0'81
Fibra vidrio	10	0'43	0'98	0'9	0'92	0'88	0'84
Lana mineral	10	0'42	0'66	0'73	0'74	0'76	0'8
Yeso	–	0'01	0'01	0'02	0'03	0'03	0'03
Hormigón/ Madera	2'5	0'2	0'16	0'13	0'1	0'06	0'05
Moqueta	0'9	0'12	0'1	0'18	0'2	0'46	0'72
Parquet	1'5	0'04	0'04	0'07	0'06	0'06	0'07
Vidrio	0'5	0'18	0'06	0'04	0'03	0'02	0'02
Terciopelo	–	0'05	0'12	0'35	0'45	0'38	0'36
Butaca, silla o mesa		0'16	0'02	0'03	0'04	0'04	–
Butaca tapizada		0'3	0'37	0'33	0'36	0'4	–
Oyente		0'15	0'23	0'4	0'56	0'64	–

Figura 9. Coeficientes de absorción de los materiales que se utilizan con mayor frecuencia en el acondicionamiento acústico de los locales.

Pero hasta ahora hemos estado hablando del espacio libre, significando esto que no teníamos el aire encerrado en ningún recinto. Un nuevo problema aparece cuando al estudiar las condiciones reales de transmisión del sonido descubrimos que, muy frecuentemente, no podremos prescindir de techos, suelos o paredes. Estos límites actuarán a veces como «esponjas» del sonido, absorbiéndolo o bien reflejándolo como «espejos». Pero además, no nos interesa «simular» especialmente las condiciones de campo abierto en una audición, pues lo que parece un gran inconveniente tiene sus indudables ventajas.

Puesto que al registrar un programa es casi imposible prescindir de las reflexiones propias de la sala de grabación, la sala de audiciones, junto con el sistema hi-fi, debe ser capaz de reproducir esas mismas reflexiones que tuvieron lugar durante el registro. Estas reflexiones pueden modificarse alterando la forma y el tiempo de reverberación del local de escucha. Es ahí pues donde reside el secreto de la adecuación acústica de un recinto dedicado a la audición en Alta Fidelidad.

El estudio detallado y profundo de la acústica de locales es bastante complicado, pero los principios básicos son sencillísimos y se reducen a ciertas normas elementales para el tratamiento interno de la sala.

Como consecuencia de las reflexiones consecutivas del sonido en las paredes aparecen las llamadas *ondas estacionarias*, que se dan a las frecuencias de resonancia «propias» del local. Estas frecuencias de resonancia vienen dadas por el tamaño y la forma de la sala, y se ven amplificadas frente a las demás llegando a resultar muy molestas. Una relación de dimensiones adecuada consigue una distribución conveniente de las frecuencias resonantes. Se considera como óptima la relación de dimensiones que dan los números 1, 1,5 y 2,5. Así, una sala de 2,5 m de altura tendría sus dimensiones ideales en 3,75 y 6,25 m. Aunque siempre que sea posible se desaconsejan volúmenes inferiores a 60 m^3 y salas con lados paralelos o con formas prismáticas, esféricas, hemiesféricas o cuadradas. Una mejora sustancial en la difusión del sonido y en la lucha contra las ondas estacionarias se consigue con un falso paralelismo del 10 % entre paredes.

Otro factor muy importante, a tener en cuenta cuando se trata de «reformar» la acústica de un local, es el tiempo de reverberación y viene determinado por el tipo de material que recubre el techo, suelo y paredes de la sala (figura 9). La reverberación es un fenómeno que se producen a causa de que las ondas reflejadas en las paredes llegan a nuestros oídos unos instantes después que el sonido directo de la fuente, pues el camino que recorren es más largo. El que una pared sea más o menos absorbente depende del material que la recubra y quiere decir que refleja o absorbe, en mayor o menor grado, las ondas sonoras que le llegan. Dependiendo de la absorción se consiguen los distintos tipos de auditorios. Para la escucha de equipos estereofóni-

cos es conveniente conseguir un local con cierta absorción. Si lo que queremos es preparar una sala para audición cuadrafónica la construiremos muy absorbente, pues los altavoces traseros ya reproducen las reflexiones de la sala original y no debemos degradar la escucha con nuevas reflexiones que pudiera introducir nuestra sala.

Psicoacústica; estructura del oído humano

Para convertir los estímulos acústicos en sensaciones auditivas el ser humano dispone de un órgano especial: el oído. Podemos considerarlo compuesto de tres partes: pabellón y conducto auditivo externo, oído medio y oído interno (figura 10).

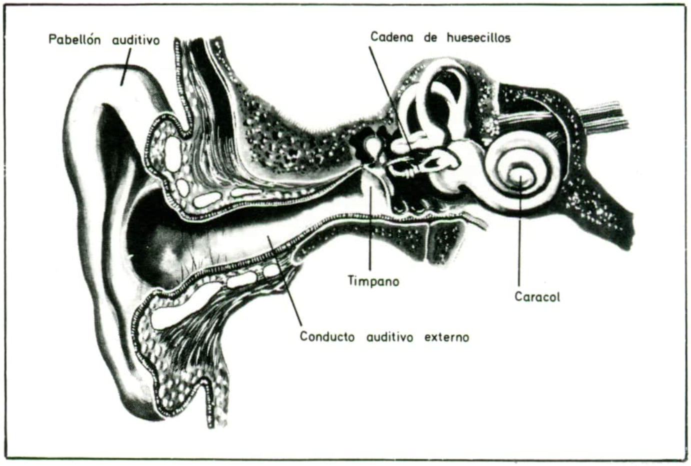


Figura 10. El oído es el órgano encargado de la función auditiva, y consta de varias partes, oído externo, oído medio y oído interno.

El pabellón auditivo recoge y concentra el sonido hacia el conducto auditivo (de ahí su peculiar forma y pliegues característicos), que lo conduce hacia el oído medio a través de la membrana timpánica. Esta actúa sobre la cadena de huesecillos que conforman el oído medio (martillo, yunque, lenticular y estribo). La misión de estos huesecillos es la de adaptar la impedancia del medio externo (aire) a la del medio líquido del oído interno. La comunicación entre el oído medio y el interno se lleva a cabo a través de las

membranas de las ventanas oval y redonda. La ganancia de presión desde el pabellón auditivo hasta la ventana oval es de aproximadamente 35. El oído interno está compuesto de un túnel con tres canales o rampas arrolladas en forma de caracol: el canal vestibular, el canal timpánico y, entre ambos, el canal coclear.



Cadena de elementos de alta fidelidad formada por un amplificador estereofónico de 32 W por canal, sintonizador, platina reproductora de cassettes y giradiscos. (Cortesía: Pioneer).

Estos canales están llenos de líquido linfático (endolinfa y perilinfa). En el interior del canal coclear se encuentra la membrana basilar y sobre ella la membrana tectoria. En la membrana basilar se encuentran asentadas las pequeñas células ciliadas del órgano de Corti. Los extremos de los cilios son excitados por el movimiento de la membrana tectoria. Esta excitación, que proviene del movimiento del líquido linfático, se traduce en impulsos eléctricos que, recorriendo las más de 30.000 neuronas y nervios auditivos, llegarán al cerebro y nos producirán la sensación auditiva (figura 12).

En pocas palabras: el sonido que se transmite a través del conducto auditivo externo pone en vibración la membrana timpánica y, gracias al juego de palancas de la cadena ósea, la vibración alcanza la base del estribo (ventana oval), el

líquido que rellena los canales, la membrana tectoria y las células ciliadas del órgano de Corti.

Actualmente se ha llegado a la conclusión, basada en observaciones y estadísticas, de que la ley que sigue la sensación sonora (S) respecto al estímulo auditivo no es logarítmica sino más bien potencial. La expresión aproximada es la siguiente:

$$S = 0{,}063 \left(\frac{I}{I_0}\right)^{lg^2}$$

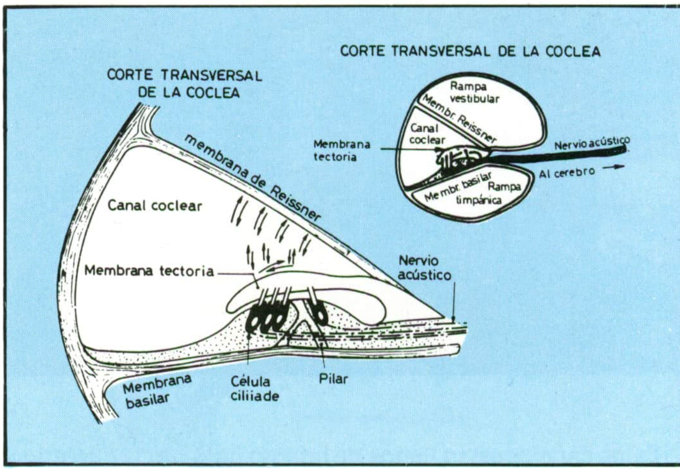


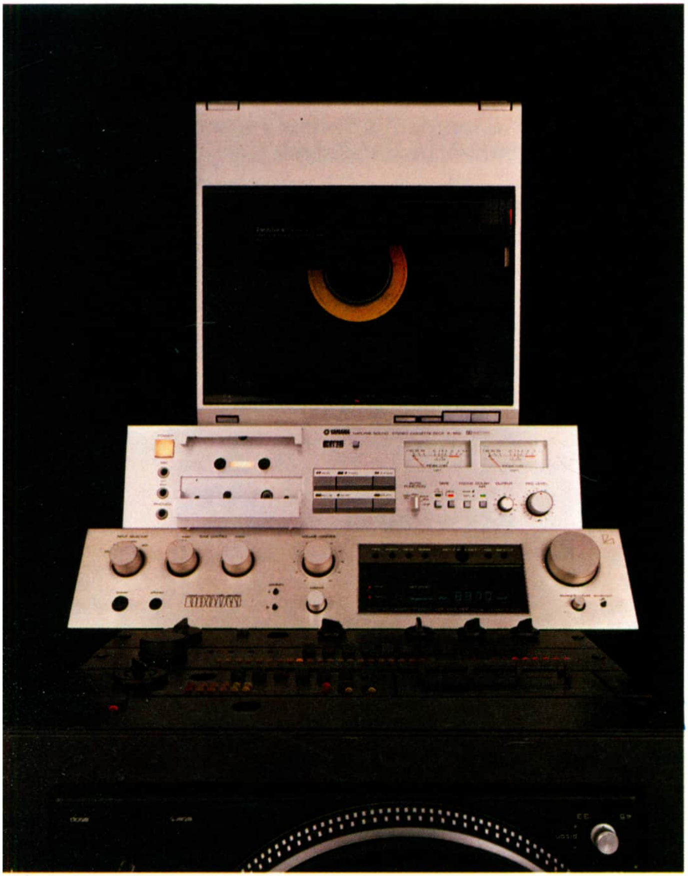
Figura 12. La membrana tectórica se mueve debido al líquido intercoclear y produce la excitación de los cilios que forman parte del órgano de Corti.

Así, si la intensidad sonora se multiplica por 10, se duplica la sensación auditiva pues $10^{lg^2} = 2$.

ALTA FIDELIDAD Y ESTEREOFONIA

Es cosa corriente entre los aficionados noveles confundir los términos de alta fidelidad y estereofonía. Sin embargo, ambos conceptos son bien distintos aunque complementarios.

Todo equipo de alta fidelidad que quiera recibir este nombre con propiedad debe ser estereofónico. Recordemos



El giradiscos y el reproductor de cassettes (platina), son los elementos más utilizados hoy en día por su facilidad de manejo y precios asequibles a muchas economías familiares.

que una de las posibilidades, quizás la más espectacular, de una audición de alta fidelidad es la situación espacial de los instrumentos que se escuchan y esto es imposible sin el logro de la estereofonía.

Existen, sin embargo, numerosos sistemas estereofónicos que no pueden ostentar la denominación de Alta Fidelidad. Sobre todo en la actualidad, con la creciente profusión de «walkmans», FM-estéreo portátiles y autorradios que muchas veces no alcanzan el nivel exigido para calificarse de Hi-Fi.

En general un equipo estereofónico que cumpla con el requisito de una buena respuesta en frecuencia ya se considera de Alta Fidelidad, pero las cosas no son, ni mucho menos, tan sencillas.

La normativa en Alta Fidelidad

La problemática de la normativa en Alta Fidelidad tiene una doble vertiente: por una parte el comercio y la técnica se extienden por todo el mundo, un mismo equipo puede adquirirse en los cinco continentes por lo que deben existir unas normas internacionales que regulen su fabricación y características; por otra parte es preciso conocer los requisitos que deben reunir los equipos para englobarlos dentro de una categoría determinada.

Para paliar estas necesidades se establecieron las normas. Estas normas o conjunto de especificaciones, características o datos que deben suministrarse con el equipo tienen una base técnica, no comercial. Los métodos de medida se suponen conocidos por ser, en teoría, iguales para todos los fabricantes.

Fundamentalmente existen dos criterios a la hora de establecer normas: el que exige unos requerimientos mínimos y el que somete a los equipos a una serie de pruebas estandarizadas cuyos resultados sirven para comparar las prestaciones. El primero, sólo por cumplir con los requisitos mínimos ya otorga el calificativo de Alta Fidelidad, mientras que el segundo posibilita una clasificación más dinámica.

En los albores de la hi-fi se establecieron una serie de normas mínimas. Por aquél entonces eran muy pocos los equipos capaces de cumplirlas y, por esta causa, también pocos los considerados auténticamente de Alta Fidelidad. Pero en nuestros días los progresos tecnológicos han hecho posible que estas normas se vean superadas fácilmente, con lo que muchos sistemas pueden presumir del calificativo «hi-fi».

Este hecho introduce la dificultad de distinguir las diferencias entre este gran número de sistemas. Se necesitaban distintas «gamas» o categorías dentro de la Alta Fidelidad.

Así, se impone un nuevo tipo de normativa que no establece mínimos, sino que exige a los fabricantes unas

cifras claras y sin ambigüedades, cuyos métodos de medida sean realistas y se aproximen todo lo posible a la utilización práctica de los diversos aparatos.

Muchos han sido y son los organismos que se han lanzado a recomendar sistemas o normas, aunque son muy pocos los que aceptados de forma general. Destacan sobre todas las demás las normas DIN y las IHF.

DIN son las siglas de *Das Ist Norm* (esto es norma), su origen es alemán y han sido pioneras de la Alta Fidelidad. Tienen, sin embargo, el inconveniente de considerar los requisitos mínimos, por lo que han quedado algo desfasadas.



Figura 14. Los métodos de medidas acústicas actuales son muy exigentes con las prestaciones de los equipos. La sofisticación de los modernos equipos también ha llegado a los laboratorios de diseño de aparatos de alta fidelidad.

IHF son las iniciales de *Institute of High Fidelity* cuyas normas se aplican a amplificadores y sintonizadores. Su origen es norteamericano y son, por tanto, los equipos procedentes de este país y los japoneses los que se ciñen a estas normas. Han sido recientemente revisadas por lo que su vigencia y adaptación al mercado actual es mayor que la de las DIN.

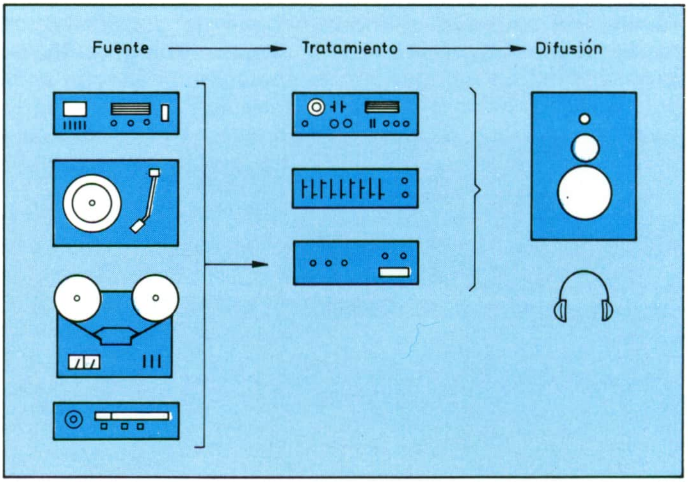


Figura 15. Los diversos aparatos que constituyen un sistema Hi-Fi pueden formar múltiples combinaciones, pero la estructura mínima de una cadena de alta fidelidad está formada por un elemento que proporciona el sonido, un amplificador de señal y un juego de cajas acústicas.

La cadena de Hi-Fi y sus elementos

Evidentemente, un sistema de audio está constituido por varios elementos entre los que se distinguen, según algunos criterios, las siguientes etapas: la fuente, el tratamiento y la difusión (figura 15).

Las fuentes de señal «leen» el programa sonoro de los soportes que lo contienen y lo «traducen» a señales eléctricas. Los soportes más comúnmente utilizados hoy día son: discos, cintas magnéticas (en sus tres versiones: bobinas, cassette o cartucho), radio (soporte no material), micrófonos, instrumentos musicales, sintetizadores de frecuencia, generadores de ritmos, etc. Dependiendo del tipo de soporte tendremos pues las distintas fuentes de señal: giradiscos, magnetófonos, sintonizadores, etc.

Las señales eléctricas que nos entregan las fuentes deben ser convenientemente tratadas para adecuarlas al último eslabón de la cadena: la difusión. El proceso de tratamiento corre a cargo de los pre-amplificadores, amplificadores de potencia y correctores de sonido como ecualizadores, reductores de ruido, etc., que nos modifican y amplifican las señales eléctricas.

El último paso en el sistema de audio es la conversión de las señales eléctricas en sonidos, un proceso que se realiza gracias a los transductores que se conocen con el nombre de altavoces y sus derivados: auriculares, cajas y pantallas acústicas.



Todos los elementos de la cadena de alta fidelidad deben pasar una serie de rigurosos controles, incluso durante el proceso de fabricación. Esto da una idea de la preocupación del fabricante por conseguir las mejores prestaciones de sus equipos.

Tenemos así clasificados los elementos que habitualmente integran una cadena de alta fidelidad, pero no podemos olvidar las modernas tendencias hacia la sofisticación y automatización total que proporcionan otros elementos complementarios, como el mando a distancia, el timer o temporizador, el analizador gráfico, etc.

Presente y futuro de la Alta Fidelidad

En pocos años, apenas una década, hemos sido testigos

de la invasión de toda una serie de adelantos que han revolucionado el mundo de la Alta Fidelidad (figura 17). La implantación del sonido digital con el compact disc y su sistema de lectura por láser (que ya tuvimos ocasión de ver en otro libro), las grabaciones en cinta magnética utilizando el sistema de impulsos codificados (PCM) y modulación delta, los altavoces planos y de plasma, los sintonizadores con triple control de cuarzo, la transmisión de sonido de alta fidelidad por satélite, el «boom» del videodisco en el que se estrechan aún más los lazos entre audio y video, la utilización masiva de microprocesadores en el control de la señal de audio, los amplificadores con nuevas tecnologías, etc., son algunas de las «novedades» que nos han llegado en un corto espacio de tiempo. Y es justo preguntarnos: «Si esto es presente.... ¿Qué nos deparará el futuro?».

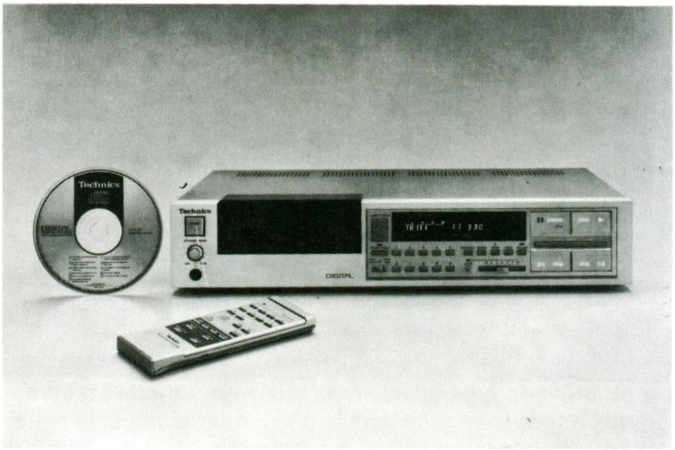
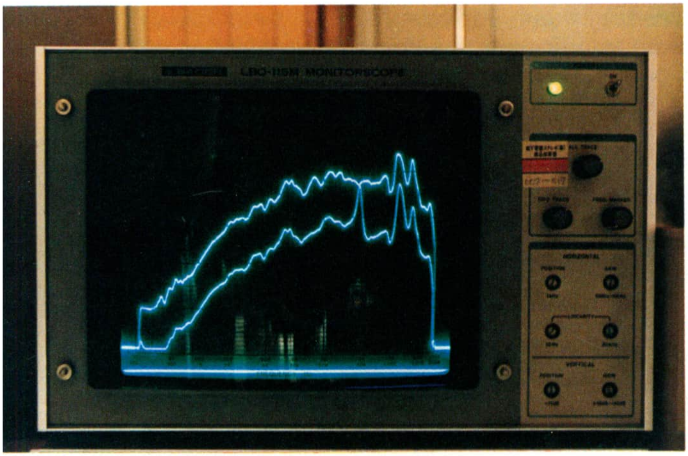


Figura 17. El sonido digital tiene su líder indiscutible en el "Compact Disc" y su revolucionario sistema de lectura por láser.

Tal vez en poco tiempo asistamos a la difusión de cadenas totalmente digitales, controladas por computador, con nuevas fuentes de sonido y sofisticados tratamientos de señal. Posiblemente los altavoces se basen en revolucionarias técnicas piezoeléctricas o electroestáticas. O tal vez no existan las cadenas «hi-fi» y se utilicen sistemas de difusión musical de alta fidelidad por cable o radio. Lo que si tenemos que esperar es que la tecnología siga avanzando y que

muchas de las cosas que hoy consideramos presente lo sean también para el aficionado a la electrónica y a la Alta Fidelidad.



La buena respuesta en frecuencia no da por sí sola calidad a un sistema, pero es un requisito indispensable para que un equipo pueda considerarse de alta fidelidad. Los analizadores electrónicos permiten obtener gráficos como este en la pantalla o tubo de rayos catódicos (TRC).

MICROFONOS: LOS CAPTADORES DE SONIDO

El primer paso en el registro de todo tipo de sonido es la conversión de éste en señales eléctricas adecuadas para un amplificador. Este paso, lógicamente muy delicado, lo llevan a cabo los captadores de sonido, más comúnmente denominados micrófonos. De ellos depende la calidad en las grabaciones efectuadas sobre discos, cintas, etc., o incluso la información recibida por radio.

Podemos hablar de fuentes y equipos reproductores de sonido, pero de nada servirían sin los micrófonos. Son éstos los que tienen la misión de convertir en energía eléctrica, y con absoluta fidelidad, las diferentes frecuencias generadas por las voces e instrumentos que intervienen en el programa sonoro, además de conservar el margen dinámico y el tono. Así pues, no parece necesario recalcar la importancia de estos aparatos y de su calidad en la perfecta reproducción del sonido, cualquiera que sea el soporte empleado.

Realmente, la utilización de micrófonos por parte del aficionado no parece muy extendida, pues se suele limitar a

escuchar programas ya grabados. Sin embargo, en la actualidad aparece una nueva tendencia hacia la participación activa en el sistema de audio y muchos audiófilos se lanzan a realizar sus propias grabaciones. Es necesario entonces conocer los diversos tipos de micrófonos, sus características y algunos métodos de grabación para tener las máximas garantías de registrar auténtico sonido en alta fidelidad.



Sistemas de grabación digital por PCM. Aún en estos casos es preciso recoger la señal desde uno o varios micrófonos exteriores situados en el estudio o plató.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS MICROFONOS

Fundamentalmente son tres los parámetros que definen el funcionamiento de un micrófono: *sensibilidad, fidelidad* y *directividad*, y es necesario tener buen conocimiento de los tres para el mayor rendimiento de éste. Tampoco viene mal alguna información adicional, como la *impedancia interna,* la *tensión de alimentación* (caso de que la tenga) o el *nivel de ruido.*

Sensibilidad

La sensibilidad es la relación que existe entre la presión

sonora que recibe el micrófono y la tensión de salida que proporciona éste. Viene determinada por la tensión de salida del micrófono cuando actúa sobre la membrana una presión de 1 dina/cm^2 (equivalente a un microbar). Recuérdese que un pascal (Pa) es lo mismo que 10 dinas/cm^2. La frecuencia de medida es de 1 kHz. Las unidades en que se expresa generalmente la sensibilidad (no está normalizada) son mV/Pa o mV/μbar, y no son aconsejables valores inferiores a 1 mV/Pa. 20 μPa es la presión sonora aproximada en el umbral humano de audición a 1 kHz y se toma como presión de referencia para determinar el nivel de presión sonora (SPL). Además de en mV la sensibilidad también puede darse en dB, utilizando como referencia 1 V (0 dB). Así, una sensibilidad de −60 dB equivale a una tensión 60 dB por debajo de 1 V (por el signo menos), es decir, 1 mV. Será mejor, por tanto, un micrófono con una sensibilidad de −60 dB que otro de −70 dB, por ejemplo.



Una sala de audición tratada acústicamente, mejora considerablemente la escucha del sonido. Las paredes y el techo deben evitar las reverberaciones a fin de conseguir la máxima calidad en la escucha del sonido.

Fidelidad

Un micrófono debe responder al menos al margen de frecuencias adecuado a la aplicación a la que se vea sometido. Así, mientras que un micrófono de hi-fi que se

emplea, por ejemplo, en la grabación de una orquesta necesita responder desde 20 Hz a 20 kHz (toda la banda audible), un micrófono telefónico sólo necesita transferir señales desde 350 Hz a 4 kHz, pues esta es la banda utilizada por toda la red.

Cuando tengamos que comparar o elegir micrófonos deberemos fijarnos en su respuesta en frecuencia, que vendrá dada en forma de gráfica análoga a la de los altavoces y que representa el valor de la tensión de salida según las diferentes frecuencias. La gráfica será, por lo general, plana en la zona central, con cierta «caída» en los extremos de la banda y posiblemente algún pico de resonancia.

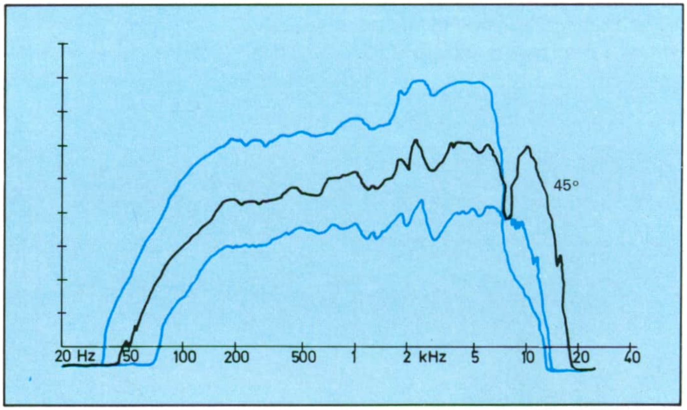


Figura 21. La gráfica de respuesta en frecuencia da información acerca de la fidelidad de los micrófonos o de cualquier otro aparato. En el caso de micrófonos, variará según la dirección de donde provenga el sonido.

La respuesta depende de numerosos factores, principalmente del tipo de micrófonos (según las propiedades mecánicas de la cápsula microfónica) y del ángulo de incidencia del sonido sobre la membrana (se dará normalmente para incidencia 0°). Las gráficas suelen presentar en el eje horizontal la frecuencia y en el vertical la señal en decibelios que, o bien representan la señal de salida real referida a 1 V, o bien una escala con el origen 0 dB en el valor correspondiente a 1 kHz, teniendo así las variaciones en decibelios frente al valor de 1 kHz directamente. En algunos gráficos se dan además las respuestas a distintos ángulos de incidencia, por ejemplo a 30, 45 y 60° (figura 21).

En algunos micrófonos es posible alterar la respuesta en

frecuencia, disminuyendo la salida en la zona de bajas frecuencias y actuando sobre una red de filtros que incorporan. Esto es particularmente útil para corregir el aumento de respuesta que se produce en la zona de baja frecuencia cuando se habla demasiado cerca de los mismos.

Directividad

En determinadas ocasiones puede ser interesante utilizar micrófonos que capten todo el ambiente circundante, en este caso el ruido ambiental no es problema. Otras ocasiones requerirán el empleo de micrófonos para registrar sonidos limpios, procedentes de una fuente determinada y fija. En el primer caso podemos usar micrófonos omnidireccionales que recojan todos los sonidos, mientras que en el segundo se hará imprescindible la utilización de uno unidireccional que no registre el resto de sonido producido en la sala. Aquí entra en juego el concepto de direccionalidad.



Aplicación de un sonómetro, destinado a medir el nivel sonoro en decibelios, en una operación de demolición para comprobar si el ruido ocasionado queda dentro de los límites permitidos por las ordenanzas municipales.

Es éste un parámetro de importancia, pues nos definirá el campo de aplicación de un micrófono además de clasificarlo en un grupo o tipo determinado. La directividad nos da una idea de su comportamiento según el ángulo de incidencia de la señal sonora y se representa mediante diagramas polares (figura 23).

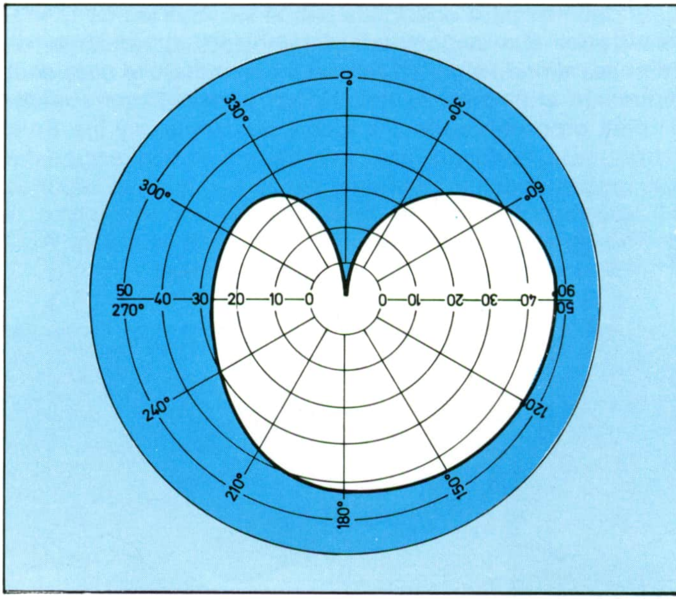


Figura 23. Los diagramas polares sirven para dar una idea de la directividad de un micrófono, al igual que sirven para ver la respuesta de un altavoz.

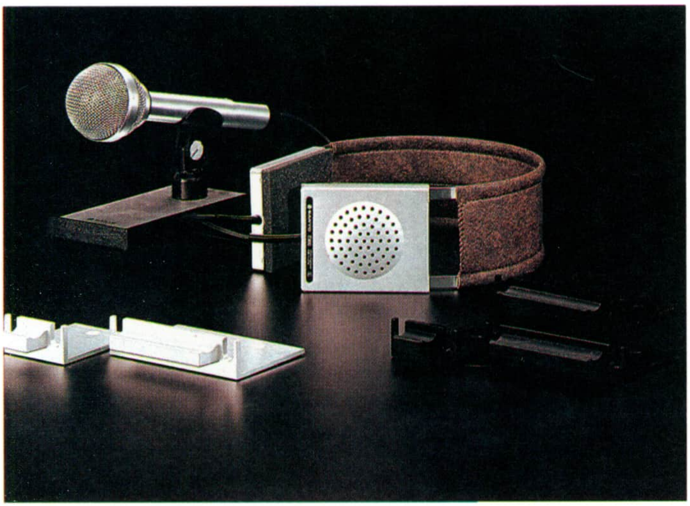
Un diagrama polar consiste en una gráfica con una serie de circunferencias concéntricas, igualmente separadas, y dos diámetros perpendiculares que determinan los ángulos de 0, 90, 180 y 270°. Un punto queda determinado, figura 23, por la distancia de él al centro (el radio) y el ángulo que forma con el eje de 0°. Las circunferencias están calibradas en decibelios, con el 0 dB en la salida correspondiente a 1 kHz y el eje de origen (0°) el formado por la línea que une el centro y la fuente de sonido con el eje anterior del micrófono.

Como vimos anteriormente, la respuesta en frecuencia de un micrófono dependía del ángulo de incidencia; ahora

sucede lo contrario: la directividad depende de la frecuencia, por lo que las gráficas se obtienen introduciendo señales de diferentes frecuencias, típicamente 125, 250 y 500 Hz, 1, 2,5, 5 y 10 kHz.

Existen micrófonos que, prácticamente, recogen con la misma intensidad los sonidos producidos frente a él que los generados detrás de él: son los denominados *omnidireccionales.*

Por el contrario, los micrófonos que fundamentalmente son sensibles a los sonidos que se producen en su eje frontal reciben el nombre de *unidireccionales.* Entre unos y otros existen diversos tipos intermedios, como es el caso de los *cardioides* y los *bidireccionales.*

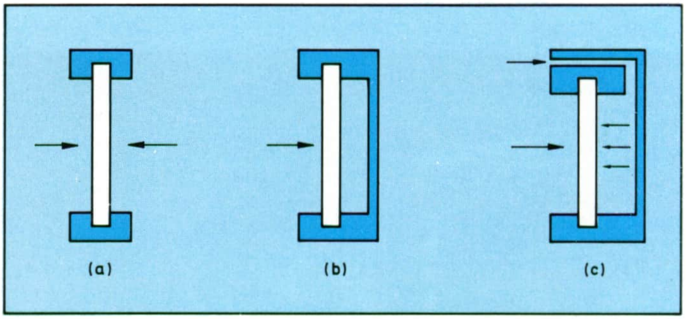


La captación perfecta del sonido por parte del micrófono, hace posible que el sonido recogido pueda ser reproducido con fidelidad en un auricular, o caja acústica.

En la direccionalidad influye en gran manera la constitución mecánica de la cápsula microfónica. La membrana es la parte esencial del micrófono, pues al recibir las ondas sonoras vibra para traducirlas en electricidad. Supongamos esta membrana (o elemento afín) tensa y colocada sobre una corona circular y vamos a ver de qué forma puede recibir los sonidos.

En primer lugar dejaremos una de las caras de la membrana aislada del exterior, por lo que recibirá por la otra

todos los sonidos que se produzcan en la sala. Es un micrófono que obedece a la presión del sonido omnidireccional. Si por el contrario dejamos que el sonido alcance las dos caras, tendremos un micrófono sensible a la diferencia de presión entre ambas: son los llamados de velocidad o de gradiente de presión. Sólo se moverá la membrana cuando las presiones que llegan a ambas caras sean distintas, si son iguales y en fase se anularán mutuamente permaneciendo la membrana en reposo. Esta vez son bidireccionales, pues responden a sonidos que se produzcan en sus ejes anterior o posterior y no a los emitidos desde puntos laterales.



a) Si la membrana del micrófono recibe los sonidos por las dos caras, tenemos un elemento bidireccional; b) Si solamente puede recibirlo por una cara, el micrófono será omnidireccional; c) Si hacemos que el sonido llegue directo a una cara, y retrasado por un desvío a la otra, tendremos una respuesta cardioide.

También será posible conseguir un tipo intermedio dejando una cara libre a la presión sonora y permitiendo que parte de esta presión alcance la otra cara a través de un conducto. De esta forma las dos señales podrán sumarse o restarse, dependiendo del lugar de procedencia del sonido.

Impedancia interna

La impedancia interna depende de la técnica de construcción del micrófono. Esta característica es fundamental para conectar correctamente el micrófono a un amplificador. Si la impedancia es baja, la línea que une el micrófono con su preamplificador puede ser de gran longitud, mientras que una impedancia alta sólo permite una línea corta, pues hay que tener en cuenta el efecto capacitivo del cable apantallado sobre la respuesta en frecuencia y además el peligro de inducción de señales parásitas. Para seguir el sistema de

adaptación por tensión, la impedancia de carga ha de ser de 3 a 10 veces la impedancia interna, así no se altera la característica de respuesta del micrófono y se mantiene la máxima relación señal/ruido.

Ruido de fondo

El ruido es una característica intrínseca a toda fuente de señal y se debe a diversas causas. Disponemos de múltiples sistemas o criterios de ponderación del ruido, y todos ellos tienden a desvalorizar las componentes del sonido de muy alta o muy baja frecuencia del espectro de audio para las que el oído tiene menor sensibilidad. Lo más importante en la evaluación del ruido es el nivel de repercusión del mismo sobre la relación señal/ruido a la entrada del preamplificador. A veces, según el valor de tensión debida al ruido ambiental, podemos despreciar el ruido propio, por lo que la relación señal/ruido dependerá casi exclusivamente de este ruido de fondo.



La captación del sonido en los estudios de grabación, salas de conciertos, espectáculos musicales, etc., exige emplear micrófonos de alta sensibilidad y gran fidelidad.

CLASES DE MICROFONOS

Según la técnica de conversión de la señal acústica en

eléctrica podemos considerar diversos tipos de micrófonos: electrodinámicos (los de bobina móvil y los de cinta), electrostáticos (capacitivos y de electret), piezoeléctricos (cerámicos y de cristal), electromagnéticos, etc. También podemos clasificarlos según la característica direccional y tendremos los omnidireccionales, bidireccionales y unidireccionales.

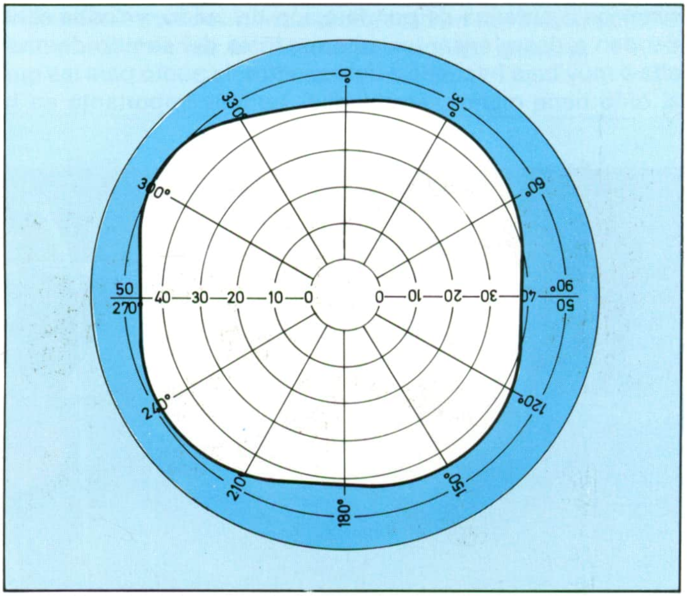


Diagrama polar de un micrófono omnidireccional. Recibe prácticamente con la misma intensidad los tonos procedentes de cualquier dirección.

Micrófonos omnidireccionales

Estos micrófonos recogen la señal acústica procedente de cualquier dirección más o menos uniformemente, pero dentro de una cierta tolerancia. Como se comentó anteriormente, el sistema de montaje permite que sólo una cara de la membrana tenga acceso a la presión sonora exterior. Son adecuados para todas aquellas instalaciones en las que no exista realimentación acústica (efecto Larsen) y en los casos de gran movilidad de la fuente de sonido.

El sistema de conversión de la presión acústica en señales

eléctricas asociado al diafragma (o membrana) se lleva a cabo por el desplazamiento de la misma o, a veces, por su velocidad de vibración. La tensión obtenida en los bornes de salida del micrófono es proporcional en circuito abierto a la presión incidente, independientemente del ángulo de incidencia.

En realidad, esto no ocurre exactamente en el extremo superior de frecuencias debido a los efectos de la difracción, que dependen de la forma y longitud del cuerpo del micrófono y de la frecuencia y ángulo de incidencia de la señal de audio.



Aplicación de un micrófono destinado a las comunicaciones vía radio en un vehículo policial. Estos micrófonos han de ser robustos y fuertemente direccionales, para evitar que el ruido ambiente enmascare la conversión.

Micrófonos bidireccionales

Captan preferentemente los sonidos que llegan de las partes posterior y frontal a la membrana, mientras que los

que proceden de los laterales se atenúan. El sistema de montaje del diafragma permite que la membrana sea accesible a la presión sonora por ambas caras. Así, la fuerza resultante que actúa sobre el diafragma depende de la diferencia de presión entre las dos caras. Se les conoce también con el nombre de micrófonos de gradiente de presión o de velocidad.

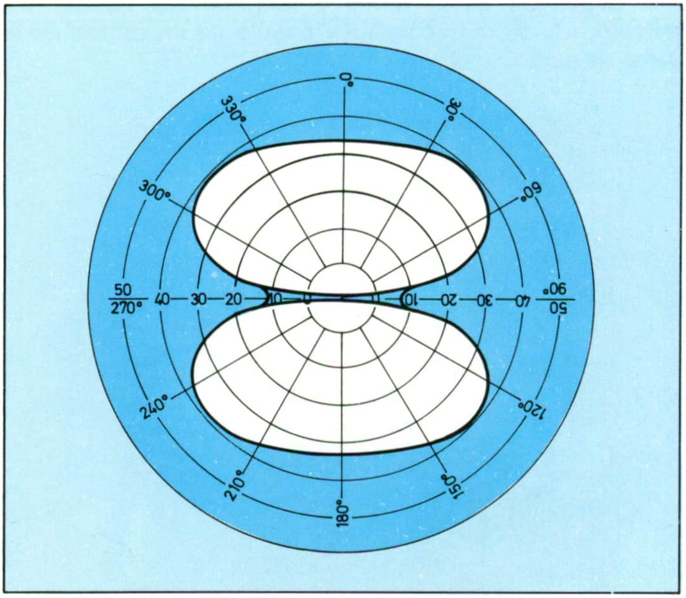


Diagrama polar de un micrófono bidireccional. Se acentúan los tonos procedentes de dos direcciones; en este caso, la frontal y la posterior.

Es sin duda el micrófono ideal en los casos en que dos usuarios se encuentran en lados opuestos al mismo y se emplea principalmente en emisoras de radio o lugares similares. Resuelve el problema de la realimentación acústica en recintos con techos no sonorizados, o bien cuando los altavoces están situados a ambos lados del micrófono.

A bajas frecuencias se produce un realce de éstas debido al efecto de proximidad característico de los micrófonos direccionales, lo que tiende a alterar el timbre de la voz cuando la distancia entre el micrófono y la boca del locutor es muy pequeña. En este caso la voz suena con tonalidad «grave». Esto se resuelve con la incorporación de redes de

filtros que contrarrestan el realce de bajos. Otras veces, para evitar efectos extraños en la respuesta en frecuencia, se utilizan micrófonos con dos cápsulas separadas con sus respectivas membranas para altas y bajas frecuencias.

Micrófonos unidireccionales

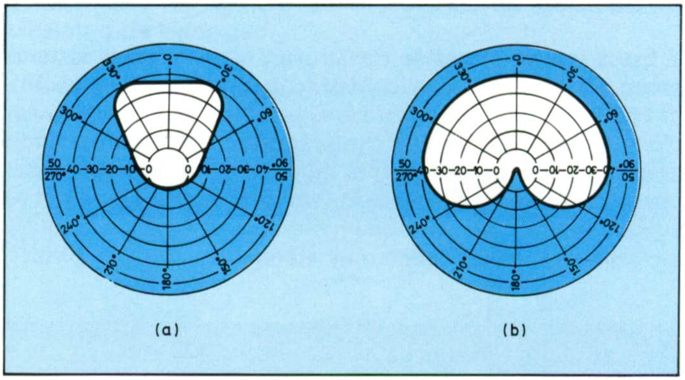
Estos transductores se construyen empleando el sistema mixto, de presión y de velocidad (o de gradiente de presión). El efecto unidireccional se consigue mediante la combinación de una resistencia y una concavidad (compliancia acústica) que actúan como una línea de retardo. Estos aparatos recogen solamente los sonidos que se producen en su cara frontal, mientras que los que llegan de los laterales y/o parte posterior quedan muy atenuados (de 10 a 20 dB).



Las modernas cámaras de grabación de video incorporan un micrófono de gran direccionalidad, para captar los sonidos que se recogen delante de la cámara o las conversaciones del ambiente próximo. Se denominan «micrófonos de ambiente". (Cortesía: Sony)

La característica más común de direccionalidad es la denominada cardioide por su gráfica polar en forma de corazón. Los supercardioides son un tipo especial intermedio entre el cardioide y el micrófono bidireccional.

La teoría de funcionamiento del micrófono unidirectivo es muy semejante a la del bidireccional, excepto por la existencia del tiempo de retraso que produce el efecto unidireccional.



Diagramas polares de un micrófono unidireccional (a), y de uno de tipo cardioide (b), denominado así por la forma de corazón que adquiere.

Otra forma de obtener un diagrama unidireccional consiste en utilizar dos micrófonos, uno bidireccional y otro omnidireccional, y sumar las tensiones de salida.

Los micrófonos unidireccionales corrigen también la realimentación acústica, además *el usuario* puede alejarse más de un unidireccional que de un omnidireccional. Por último, si ponemos el eje de la membrana en dirección vertical, los micrófonos direccionales adquieren una característica omnidireccional en el plano horizontal.

Micrófonos de bobina móvil

El tipo de micrófono más difundido en la actualidad es el de bobina móvil, también llamado micrófono dinámico. En él se reúnen buenas características de respuesta, fácil manejo y precio asequible. Es el tipo de micrófono que incorporaban los equipos de grabación portátiles y radio-cassettes hasta la aparición de los modelos electrostáticos.

Esencialmente, el micrófono de bobina móvil está constituido por una bobina solidaria al diafragma y alojada en el interior del entrehierro anular de un imán permanente, es decir, prácticamente consta de los mismos elementos que

componen un altavoz. Debido a esta semejanza no es raro encontrar equipos de transmisión de reducido tamaño que utilizan el mismo transductor dinámico como altavoz y como micrófono, conectándolo mediante conmutación al circuito correspondiente de emisión o recepción.

El diafragma suele tener unos 2 cm de diámetro y está construido con materiales plásticos, aluminio e incluso papel. Es de un espesor muy fino y tiene forma de casquete esférico a fin de conseguir mayor rigidez. El conjunto así descrito se coloca en el interior de una pieza cilíndrica, quedando una de sus bases constituida por la membrana a la que se protege con una plancha metálica perforada, formando así la cápsula o pastilla microfónica. Esta cápsula se dota de una carcasa más manejable, de manera que se transmitan lo menos posible los ruidos y vibraciones exteriores.



Los equipos portátiles para radiocomunicaciones desde los vehículos, como los que se emplean en la CB (banda ciudadana) o en la radioafición, van dotados de micrófonos que exigen la proximidad del que los utiliza para evitar la captación de ruidos externos al mensaje. Al mismo tiempo deben ser apratos robustos, que soporten golpes y vibraciones.

El funcionamiento es el siguiente: la membrana está firmemente sujeta al cilindro metálico que contiene el imán y la bobina, esta última se halla devanada en el entrehierro, de modo que al moverse la membrana por efecto de la presión sonora la bobina se desplaza hacia adelante y hacia atrás sobre su propio eje, produciéndose una tensión en sus extremos.

Las conexiones de la bobina se sacan al exterior por debajo de la propia cápsula mediante finos hilos conductores pegados a ella (figura 33).

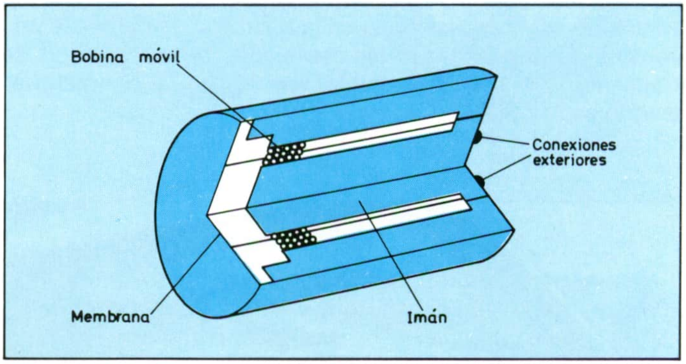


Figura 33. Esquema de una cápsula de un micrófono dinámico de bobina móvil. Se observa la sección de la bobina móvil.

La impedancia interna de los micrófonos de bobina móvil oscila entre 150 y 600 Ω y se debe a la resistencia e inductancia de la bobina. Algunos modelos incorporan un transformador de salida en la propia carcasa, con lo que se eleva la impedancia de 10 a 50 kΩ. Con este transformador se incrementan considerablemente tanto la impedancia de salida como la sensibilidad, mientras que el ruido de fondo apenas aumenta.

La respuesta en frecuencia es bastante buena según calidades, llegando desde 60 u 80 Hz a 10 kHz en los modelos económicos y cubriendo todo el margen audible en los modelos más profesionales. Sin embargo, debido a las dimensiones de la membrana, su peso, etc., no es posible por simple dimensionado sacar la frecuencia de resonancia fuera de la banda de utilización. La única solución posible es crear un circuito anti-resonante que la anule. Para ello se utiliza la cavidad interna del diafragma a fin de emplear el aire

contenido en ella para contrarrestar la resonancia. Es decir, dimensionaremos convenientemente esta cavidad para conseguir la elasticidad acústica óptima que se oponga al movimiento de la membrana en la resonancia (ver la curva de respuesta en la figura 34).

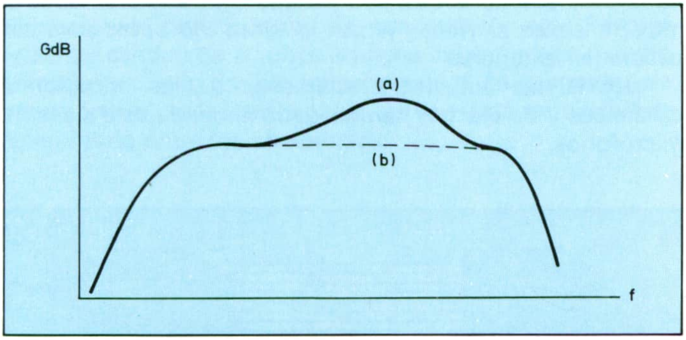


Figura 34. La curva de respuesta en frecuencia de un micrófono dinámico tiene un pico de resonancia en la banda audible (a), que se evita dimensionando adecuadamente la cavidad interna (b).

Estos micrófonos son muy robustos, tienen buena sensibilidad (de −66 a −50 dB) y excelente dinámica (figura 35), y son poco sensibles a cambios climáticos de temperatura o humedad. Según calidad y precio su aplicación puede abarcar casi todos los campos, desde el modelo de gran consumo al profesional en estudios de grabación.

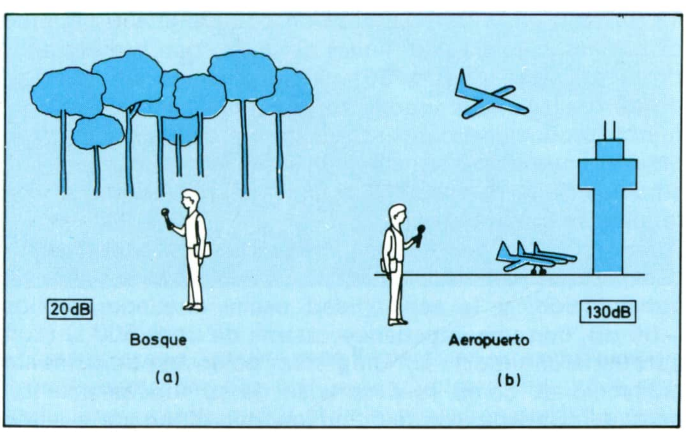


Figura 35. La gran dinámica de los micrófonos de bobina móvil, permite recoger sonidos con una gran diferencia de nivel, desde un bosque silencioso, hasta en un aeropuerto muy ruidoso.

Micrófonos de cinta

El micrófono de cinta no está muy extendido entre los aficionados, reservándose su empleo al campo profesional, en estudios de grabación y emisoras de radio. Sin embargo su uso va siendo cada vez menor pese a su robustez y fiabilidad, debido a que son pesados, voluminos, caros y muy sensibles al viento y, por lo tanto, no aptos para ser usados en exteriores.

Además, las actuales prestaciones de los micrófonos dinámicos y de electret han relegado al olvido esta clase de micrófonos.

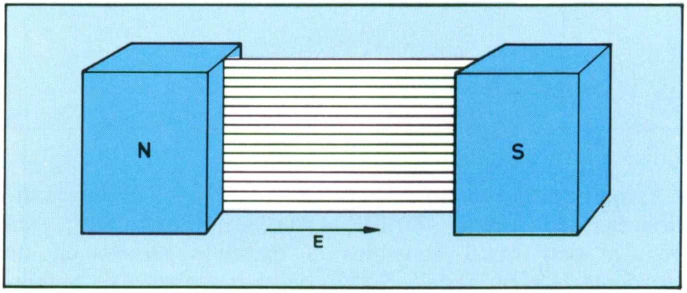


Figura 36. La cinta está colocada entre los polos de un imán, paralela a las líneas de fuerza que hay entre éstos. El desplazamiento de la cinta y el consiguiente corte de líneas de fuerza convierte la variación sonora en variación eléctrica.

Están esencialmente constituidos por una cinta estrecha y larga de material muy conductor (de muy baja resistencia) suspendida entre las placas de un potente imán, de modo que queda paralela a las líneas de fuerza que hay entre los polos del imán (figura 36). Al moverse la cinta por la presión de las ondas sonoras su superficie corta las líneas de fuerza produciendo una corriente y, en definitiva, una tensión entre sus extremos cuyo valor es proporcional a la amplitud de los desplazamientos y de frecuencia igual a la de la onda sonora incidente.

La gráfica de respuesta en frecuencia es sensiblemente constante a partir de 50 Hz debido a la técnica de su construcción, y la sensibilidad oscila alrededor de los −60 dB, con una impedancia interna de unos 500 Ω (con autotransformador). El diagrama polar es típicamente bidireccional, como se desprende de su funcionamiento, pero se puede transformar en un micrófono de presión

omnidireccional tapando una cara de la cinta, o en cardioide mediante la utilización de dos cintas combinadas.

Micrófonos capacitivos

Hasta hace poco tiempo los micrófonos capacitivos o de condensador se empleaban casi exclusivamente en medidas, calibraciones, construcción de sonómetros, etc. Pero la excelente calidad de algunos equipos existentes en nuestro mercado ha exigido su incorporación en sistemas de grabación no profesional y hoy su uso está ampliamente generalizado entre los aficionados.



Cuando los radioaficionados disponen de un equipo fijo completo, pueden emplear otros tipos de micrófonos que no exijan una direccionalidad tan acusada.

Este micrófono consiste sencillamente en un condensador plano formado por dos placas conductoras separadas por una distancia muy pequeña, el dieléctrico es en general el pro-

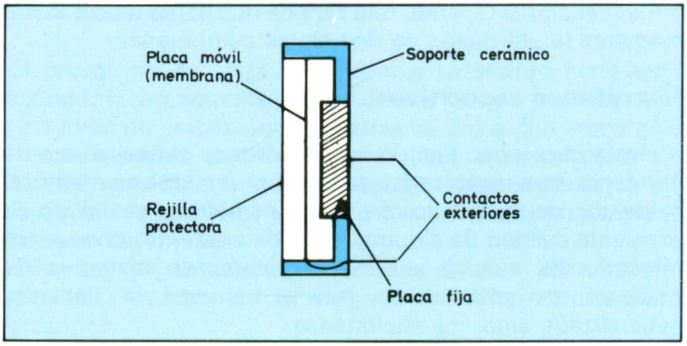


Figura 38. El micrófono capacitivo consiste simplemente en dos placas, una fija y otra móvil, que hacen las veces de un condensador.

pio aire que hay entre ellas (figura 38). Una de estas placas es fija y la otra móvil, la última es la destinada a recibir las ondas sonoras. Puesto que la capacidad es directamente proporcional a la superficie de las placas (en nuestro caso es un valor constante) e inversamente proporcional a la distancia entre ellas, al variar esta distancia (debido a las vibraciones del electrodo móvil al recibir la presión sonora) la capacidad variará también, pero en forma inversa: cuando la membrana se acerque a la placa fija la capacidad aumentará y si aumenta la distancia ocurrirá lo contrario.

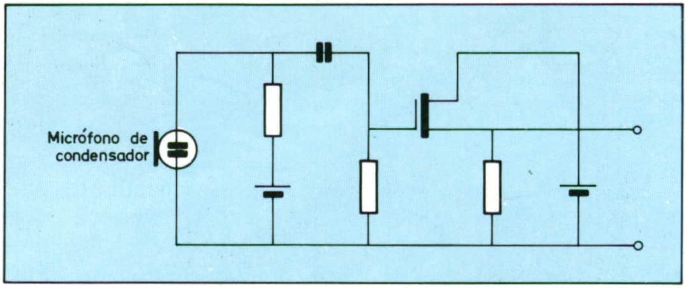


Figura 39. El micrófono capacitivo necesita una tensión de alimentación, así como una cierta preamplificación, debido a su alta impedancia. Usualmente se emplea un previo con un transistor de efecto de campo FET.

El micrófono capacitivo necesita una polarización de continua para las placas, de valor comprendido entre 40 y 200 V y una resistencia de alto valor. Así, la variación de capacidad se traducirá instantáneamente en una variación de tensión en bornes de la resistencia.

La cápsula de un micrófono construido así presenta el inconveniente de una muy alta impedancia, por lo que se hace imprescindible la utilización de un preamplificador (colocado muy próximo) que además de reducir la impedancia de salida amplifique la señal (figura 39).



Los equipos portátiles, como el de la figura, también llevan incorporados pequeños micrófonos electret o de condensador, lo que permite aprovechar las posibilidades de grabar desde el exterior.

Este amplificador necesita también una alimentación. En los circuitos actuales, que se basan en transistores de efecto de campo, será de un valor menor al de polarización pero con un gran consumo comparado con el de éste.

Otro problema importante viene de la capacidad parásita característica de los cables. La capacidad estática (en reposo) de las placas del condensador es de 40 ó 50 pF. La capacidad de los cables es de 50 a 100 pF por metro, por lo que un solo metro de cable tiene una capacidad parásita comparable a la de la cápsula y se suma a ésta por estar en paralelo. Esta capacidad que se añade produce una atenua-

ción de la señal de salida y modifica considerablemente la respuesta en frecuencia.

Gracias al amplificador que incorpora, la sensibilidad es muy buena (alrededor de −50 dB). La respuesta en frecuencia es muy plana y la frecuencia de resonancia se encuentra casi fuera del margen audible. Son pues micrófonos de una gran fidelidad.

El principal defecto de este tipo de micrófonos es el tener que emplear dos tensiones: la de polarización de las placas, bastante elevada y usulamente incluida en la misma carcasa en forma de pilas o batería, y la de alimentación del amplificador que se suele introducir desde el exterior por los cables de conexión. Además, su construcción es muy delicada y son sensibles a la humedad, que afecta al dieléctrico (aire entre placas) pudiendo producir ruidos de fondo o incluso arcos entre placas con valores excesivos de humedad.

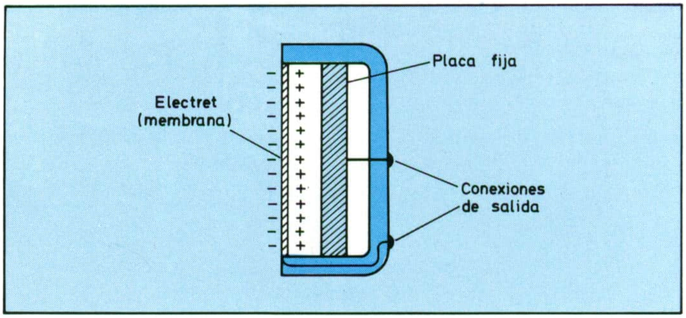


Figura 41. El micrófono de electrect tiene la ventaja de no precisar tensión de polarización entre placas, por estar ya polarizador el dieléctrico.

Micrófonos de electret

Siguiendo la misma idea en que se basa el micrófono de condensador aparece el micrófono de electret, el cual no precisa de la alimentación auxiliar de polarización que se necesitaba en el caso anterior.

Un *electret* es un material dieléctrico polarizado. La polarización se obtiene colocando el dieléctrico (una hoja de plástico metalizado) entre dos placas en el interior de un horno a unos 230º, aplicando la vez una tensión continua de 3.000 a 4.000 V a los electrodos. Manteniendo este campo

eléctrico excitador se disminuye la temperatura y la lámina dieléctrica queda fuertemente polarizada, es decir, se convierte en un *electret*.

La cápsula del micrófono se construye, al igual que la del capacitivo, con una placa fija y otra móvil, esta última es el electret en sí y constituye la membrana. Una de las caras de ésta ha sido metalizada para que sirva de contacto. Como el electret tiene una carga constante al variar la distancia entre placas debido a la presión de las ondas sonoras, varía el campo electrostático y aparece una tensión en los bornes de salida (figura 41). Así pues, no necesitamos la tensión de polarización.

La duración de la polarización del electret es muy elevada, por lo que la sensibilidad del micrófono se mantiene muy constante en el tiempo y además no depende del diámetro de la membrana. Se estima que la sensibilidad se reduce a la mitad cada siglo. La respuesta en frecuencia se extiende desde los 50 a 15 kHz con una ligera acentuación de las medias frecuencias, lo que lo hace especialmente útil en la utilización con voz. Además, su pequeño tamaño permite la construcción de buenos micrófonos de «solapa o corbata», pudiendo pasar casi desapercibidos.

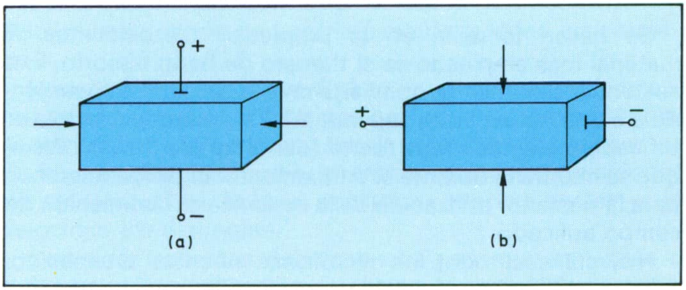


Figura 42. El fenómeno piezoeléctrico se produce cuando se presiona sobre dos superficies de un cristal que posea esta propiedad; se trata, como sabemos, de un proceso reversible.

Su buena sensibilidad (de −50 a −70 dB), su excelente margen dinámico (que supera 120 dB), su robustez y reducido tamaño y su insensibilidad a la humedad y al calor hacen de este micrófono el más versátil junto con los clásicos dinámicos, y sin duda es el que más brillante futuro tiene.

Micrófonos de cristal

Continuamos la descripción de los diversos tipos de micrófonos con los denominados piezoeléctricos y más concretamente, con los micrófonos de cristal. Están constituidos por materiales cristalinos cortados en láminas que poseen la propiedad de generar una tensión entre sus caras al ser aplicada presión entre éstas: la *piezoelectricidad* (figura 42). No requieren ninguna polarización exterior y la tensión obtenida es proporcional al desplazamiento (en circuito abierto).

El cristal piezoeléctrico se comporta como un condensador: las superficies metalizadas son las placas y el cristal el dieléctrico, por lo que su impedancia es elevada. La sal de Rochelle ha sido el material más empleado hasta el momento por sus altas propiedades piezoeléctricas, pero tiene el inconveniente de ser muy sensible a la humedad y al calor. En la actualidad se han desarrollado compuestos artificiales con marcada piezoelectricidad y menos sensibles a la humedad y a la temperatura. La sensibilidad es excelente, del orden de -40 dB, aunque no se suelen emplear en Alta Fidelidad.

Micrófonos cerámicos

Se basan también en la propiedad piezoeléctrica. El material más empleado es el titanato de bario bimorfo. Esta sustancia cerámica se convierte en piezoeléctrica sometiéndola a una temperatura superior a 120º e introduciéndola en un campo eléctrico muy fuerte (del orden de 20.000 V/cm) que se mantiene durante el enfriamiento. El eje de referencia para la posterior utilización de la cerámica es la dirección del campo aplicado.

Hoy día, casi todos los micrófonos de cristal o cerámicos utilizan los llamados cristales bimorfos. Se trata de un cristal formado por dos láminas piezoeléctricas colocadas una enfrente de otra, entre las que se coloca una lámina metálica muy fina (que constituye uno de los bornes de salida), las dos superficies restantes se metalizan y unen eléctricamente para tomar la otra salida (figura 43).

Al flexionarse el cristal por efecto de las ondas sonoras aparece en los bornes de salida la tensión suma proporcionada por ambas láminas.

Los micrófonos cerámicos no son tan sensibles como los de cristal a las variaciones climáticas, pero su sensibilidad es menor y la característica de frecuencia es más extensa y regular. Se utilizan mucho asociados a transistores FET en los audífonos para prótesis acústicas por sus reducidas dimensiones. También se usan en Alta Fidelidad.

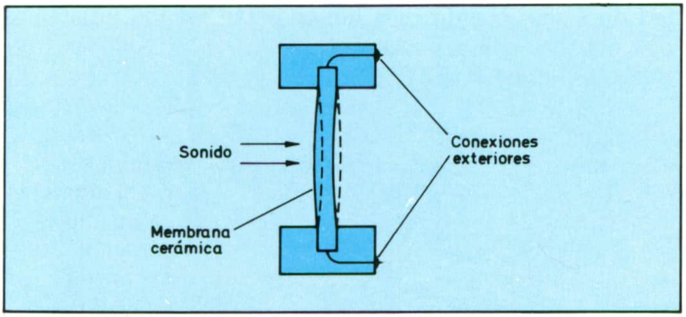


Figura 43. La flexión produce también efecto piezoeléctrico, como sucede en el caso del micrófono cerámico constituido por una membrana de titanato de bario bimorfo.

Micrófonos electromagnéticos

Consisten en una armadura móvil que forma parte de un circuito magnético con uno o varios entrehierros. Un solenoide actuando de bobina captadora rodea esta armadura.

Los movimientos de un diafragma metálico (preferentemente de aluminio), producidos por las vibraciones sonoras, se transmiten a la armadura móvil produciendo variaciones de flujo en el entrehierro y, consecuentemente, variaciones de tensión en la bobina captadora proporcionales a la velocidad del diafragma.

Son poco robustos debido a que son muy sensibles a golpes por su constitución mecánica, la impedancia interna es baja, la sensibilidad bastante buena, pero su característica en frecuencia es muy irregular y limitada. Hasta hace poco tiempo era el micrófono usado generalmente en prótesis acústicas debido a sus reducidas dimensiones.

Micrófonos de carbón

Fue éste uno de los primeros tipos de micrófono que se

utilizaron y todavía hoy se sigue usando en aplicaciones donde no es importante una gran fidelidad. Este micrófono consta de un pequeño recipiente metálico que contiene gránulos de carbón térmicamente tratados. La cavidad está sólidamente tapada por un émbolo solidario a un diafragma metálico, al que se le practican unas hendiduras concéntricas con el fin de darle mayor robustez. La resistencia eléctrica de los gránulos de carbón depende de la proximidad de éstos: cuanto más juntos están menos resistencia presentan. Los hilos de salida se conectan de forma que en bornes se obtiene la resistencia eléctrica de la masa de carbón.

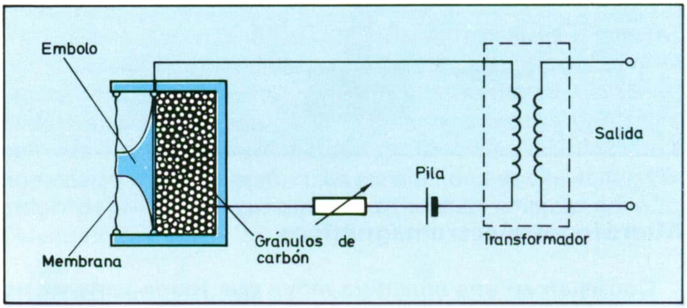


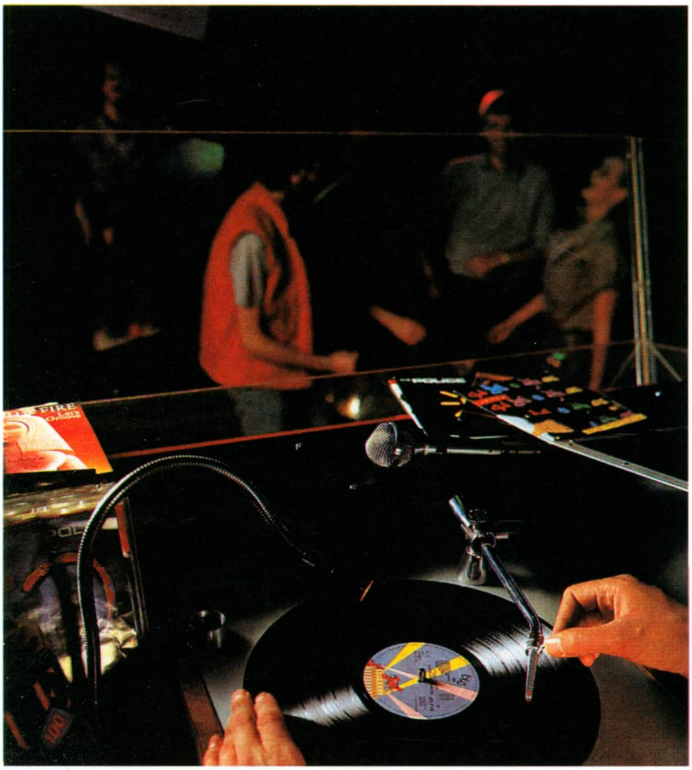
Figura 44. El micrófono de carbón necesita un circuito externo de tensión continua, para traducir o transformar la variación de resistencia del carbón, en una variación de tensión en bornes del transformador.

Al producirse un sonido delante de la membrana ésta vibrará. Los desplazamientos del diafragma producirán el movimiento del émbolo y la variación consiguiente de la resistencia de los gránulos de carbón. Esta resistencia variable, que forma parte de un circuito de continua (figura 44), produce a su vez variaciones en la corriente eléctrica que se transforman finalmente en variaciones de tensión, o bien por una resistencia adicional, o bien por un transformador en serie con el circuito. La tensión es, lógicamente, proporcional a la presión sonora. Este micrófono funciona por presión y es omnidireccional, pues el sonido incide sólo por una cara de la membrana.

Los micrófonos de carbón se construyen de manera que el pico de resonancia de su respuesta en frecuencia caiga fuera del margen de utilización.

Algunas desventajas de estos micrófonos son: la necesidad de una tensión externa, el silbido *hiss* de alta frecuencia

generado por los gránulos de carbón, una respuesta en frecuencia muy limitada y una elevada distorsión. La sensibilidad de este micrófono es buena, pero no es utilizable en Alta Fidelidad como se deduce de lo expuesto anteriormente. Se presenta en el mercado en forma de cápsula independiente de impedancia próxima a 200 Ω y su utilización más generalizada es en transmisión telefónica.



En los ambientes ruidosos, como es el caso de las discotecas, los micrófonos no pueden ser omnidireccionales; los modelos direccionales, no captan tantos ruidos indeseables.

OTROS TIPOS DE MICROFONOS

Los micrófonos que hemos visto hasta ahora son, sin duda, los más difundidos en la actualidad. Pero existen otros que, bien por su poca competitividad, bien por su fase

experimental, no son tan conocidos en el ámbito de la Alta Fidelidad.

A lo largo de estas páginas hemos visto como a través de diversas técnicas un micrófono determinado era capaz de recoger sonidos de una zona concreta del espacio, es decir, podíamos variar su directividad o su alcance. El caso límite de este principio lo presentan los micrófonos canceladores de ruido. Se emplean en ambientes muy ruidosos, por



Micrófono inalámbrico. Las señales captadas son amplificadas y enviadas via radio al amplificador, situado a sólo unos metros de distancia del operador. Se utiliza siempre que el usuario precise de una gran movilidad (cantantes, locutores, conferenciantes, etc.).

encima de 100 dB, e ignoran los sonidos que se producen a más de un centímetro de su superficie. Esto se consigue haciendo llegar el sonido a la parte delantera de la membrana por dos caminos diferentes. El sonido producido lejos del micrófono alcanza la cápsula por ambos lados, anulando el movimiento de la misma. Cuando se habla sólo por la parte superior predomina la incidencia sobre una de las caras del

diafragma, produciendo un movimiento y, por tanto, una tensión de salida. Este tipo de micrófono es empleado preferentemente en retransmisiones deportivas, comunicaciones sobre vehículos, etc.

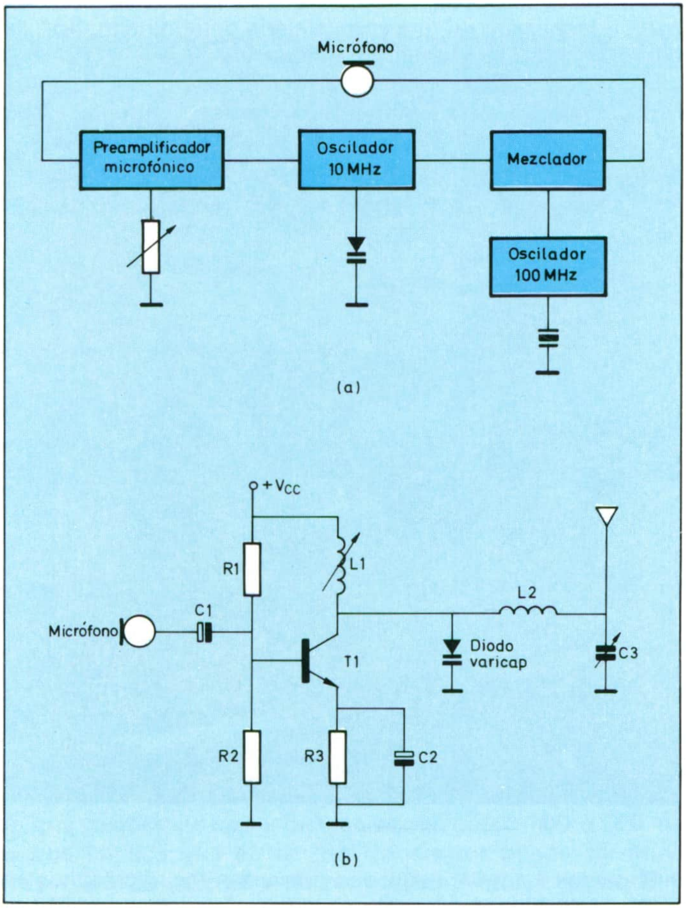


Figura 47. a) Diagrama de bloques de un emisor de FM para micrófono; b) Sencillo esquema de un micrófono inalámbrico. Con menos de una docena de componentes, se consigue un alcance de más de 15 metros.

También para ambientes de gran ruido se diseñaron los micrófonos de contacto (laringófonos) que, colocados a ambos lados de la laringe, convierten las vibraciones de ésta (al articular sonidos) en corrientes eléctricas. Se emplean en

aviones, carros de combate y vehículos en general. Los márgenes de frecuencia se extienden en ambos casos entre 300 Hz y 5 kHz.

Otro tipo de micrófonos son los superdireccionales, que permiten aislar un objetivo sonoro del resto. Actúan como una «mira telescópica» o «zoom» acústico, resaltando un sonido localizado en una zona alejada determinada. Son de gran longitud y disponen de orificios laterales a lo largo del tubo, así como de ranuras en la base, que ayudan a dar una mayor directividad. La pantalla antiviento es muy necesaria cuando este tipo de micrófonos se utiliza en tomas exteriores.



Figura 48. Los concentradores de sonido, permiten alejarse del foco sonoro y recoger sonidos en una dirección concreta.

El mayor inconveniente que presentan los micrófonos es la dependencia eléctrica de un cable, cable que a menudo se enreda o no llega hasta donde queremos, pero que es el encargado de transmitir las señales eléctricas del micrófono al aparato de registro.

Para facilitar el manejo de los micrófonos se están difundiendo últimamente los micrófonos sin alambres (sin

conexiones ni hilos) o inalámbricos. Su fundamento es sencillo: el micrófono se conecta a un pequeño emisor de radio (usualmente de FM) que va incorporado a la propia carcasa. De esta forma se consigue una gran independencia y libertad de movimiento, ya que el cable es la «onda» de



Micrófono de cascos. Lo utilizan los operadores telefónicos, locutores, cámaras de TV, pilotos, etc. Es imprescindible para aquellas personas que deben trabajar durante horas con el micrófono y precisan tener las manos libres. Deben ser elementos de escaso peso y bastante direccionales.

radio que lo une con el receptor. Son raras las aplicaciones en que se necesite cubrir distancias mayores a 100 ó 200 m, lo que implica que el tamaño del emisor puede ser muy reducido y su potencia mínima (figura 47). La legislación vigente prohibe emitir en la banda comercial de FM (de 88 a 108 MHz), pero dada la baja potencia y corto alcance se utilizan con cierta libertad. Poseen un tornillo de ajuste que se acciona para fijar la frecuencia de transmisión deseada.

El micrófono de estado sólido es de reciente desarrollo y su uso está limitado a las comunicaciones. Se basa en la

variación de resistividad de un elemento semiconductor (silicio por lo general) al ser sometido a una fuerza de torsión. A través del semiconductor pasa una corriente fija, con lo que aparece una tensión en sus bornes. Si torsionamos la barra de semiconductor, la resistencia variará proporcionalmente al esfuerzo aplicado y aparecerá una tensión variable en sus extremos.

Otro tipo de micrófono curioso, del que existen varias patentes aunque no se ha construido de forma industrial, es el óptico. El diseño más generalizado consiste en un diafragma cuyo vértice tiene un espejo plano. Un haz de luz se proyecta y se hace incidir en el espejo, luego atraviesa un filtro óptico y se concentra en una fotocélula.

Cuando se mueve el diafragma el espejo también lo hace, con lo que el haz de luz sufrirá ligeras desviaciones que provocarán alteraciones en la iluminación de la fotocélula las cuales a su vez se traducirán en variaciones de tensión en su salida (figura 50).

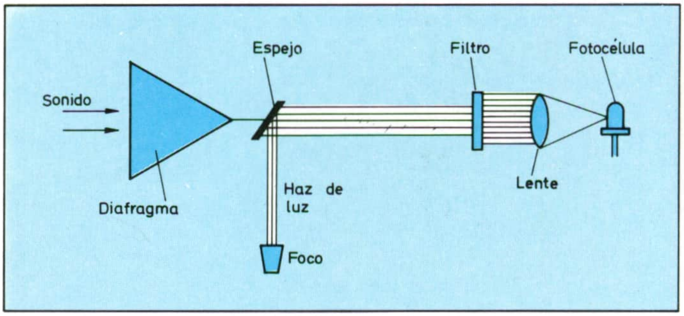


Figura 50. El micrófono óptico todavía no se fabrica en serie; es de suponer que es debido a su complejo mecanismo.

GRABACION ESTEREOFONICA Y EN ALTA FIDELIDAD

Ya vimos anteriormente las relaciones existentes entre ambos conceptos. Como sabemos, el sonido estereofónico trata de conseguir la localización espacial de las fuentes, de manera que se aproxime mucho a la sensación de escucha directa (sonido en Alta Fidelidad).

Cuando escuchamos una orquesta en una sala podemos localizar perfectamente la procedencia de los distintos

sonidos: izquierda, derecha, frontales o traseros. En alta fidelidad es posible esta situación espacial gracias a la colocación de los altavoces (dos en estereofonía). Es lógico pensar que serán necesarios dos micrófonos para la grabación estéreo, que simulará a nuestros oídos la sala de audición. Sólo nos queda por resolver cómo colocar estos micrófonos.

Otro fenómeno importante al tener que grabar con más de un micrófono es el que se produce cuando no están en fase, y es similar al desfase entre altavoces cuando se reproduce un programa.



Micrófono de «corbata». Por sus diminutas dimensiones y alta sensibilidad, se utiliza en platós de TV para entrevistas. Los personajes entrevistados disponen de libertad de movimientos. Estéticamente también es una excelente solución.

Además, es interesante contar con información sobre pantallas, concentradores de sonido, conectores, etc. y cualquier tipo de complemento útil para la grabación, amén de algunos consejos para que una grabación resulte más sencilla y fiel.

La fase en los micrófonos

Cuando analizamos los altavoces, en el libro 6.º de esta obra, observamos la necesidad de que se encuentren en fase para una correcta reproducción, ya que sin este requisito el sonido parece antinatural e ilocalizable. Esto afecta principalmente a la grabación estereofónica y siempre que se usen varios micrófonos.

Si grabamos con varios micrófonos que se encuentran próximos uno del otro, al mezclar luego las señales para obtener la información definitiva resultará que las señales se cancelarán unas a otras si no se encontraban en fase (figura 52) en vez de realzarse, que era lo que se pretendía.

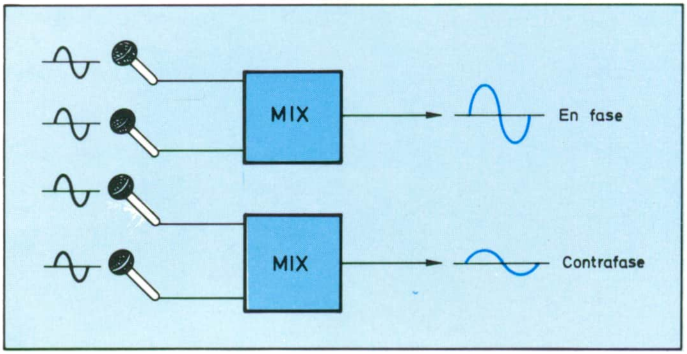


Figura 52. Si recogemos un sonido de nivel constante con dos micrófonos, y al mezclar la señal ésta se realza, es indicio de que están en fase; si por el contrario se atenúa, se debe cambiar la conexión de uno de ellos.

En los micrófonos de conexión desequilibrada no existe este problema, pues un cable es la masa y el otro el positivo de la señal. Tampoco hay ningún inconveniente si se emplean micrófonos equilibrados del mismo fabricante: si conservamos el orden de las patillas del conector no puede existir desfase. En el caso de que no sean del mismo fabricante, después de conectar las masas quedan dos cables que no sabremos en qué orden conectar.

Uno de los procedimientos más sencillos para poner micrófonos en fase y que sólo necesita de un mezclador, consiste en lo siguiente: situando los micrófonos lo más cercanos que sea posible y conectándolos a dos entradas independientes del mezclador, colocamos todos los mandos de mezcla a cero. Emitiendo un sonido constante subiremos

el nivel de uno de ellos hasta conseguir un nivel de salida conveniente. Luego anotamos la posición del mando que necesitamos para conseguir este nivel y lo volvemos a poner a cero. Procedemos de igual forma con el otro micrófono hasta alcanzar el mismo nivel que antes, anotando la posición del control y retornándolo a cero. Finalmente, colocamos ambos mandos en las posiciones anotadas para cada uno, sin dejar de producir el sonido anterior, y observamos la lectura del indicador de nivel de salida. Si es mayor que la que se obtenía separadamente con los dos micrófonos, podemos asegurar que están en fase. En caso contrario, sólo hay que invertir la conexión de uno cualquiera de los micrófonos. Una nueva prueba nos puede asegurar que ahora están en fase.

Algunos métodos de grabación

Existen varios métodos básicos de grabación estereofóni-



Los teléfonos incorporan también una pastilla microfónica para captar el sonido y poner en contacto a los dos comunicantes. En la fotografía se presentan varios modelos fabricados en España por Standard Eléctrica.

ca y veremos los más importantes. El método clásico (o XY) consiste en utilizar dos micrófonos direccionales (con micrófonos cardioides la separación entre canales es mayor) de características muy semejantes o idénticas, colocados uno del otro a una distancia de 50 a 150 cm (según el efecto que se quiera conseguir) y separados por una pantalla que haga las veces de barrera acústica, protegiendo cada micrófono de los sonidos procedentes del lado contrario (figura 54). Los micrófonos se sitúan separados 45° a la derecha e izquierda de la pantalla, que ocupa el lugar de la cabeza del oyente. Para conseguir una perfecta reproducción hay que colocar los altavoces separados la misma distancia que los micrófonos. Otra ubicación posible de los micrófonos es uno sobre otro, muy cercanos y girados 90°.

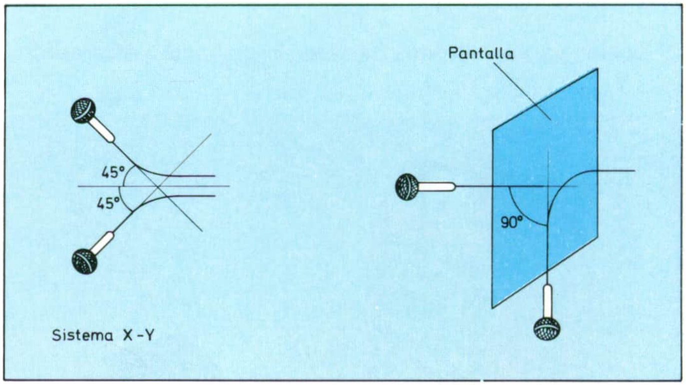
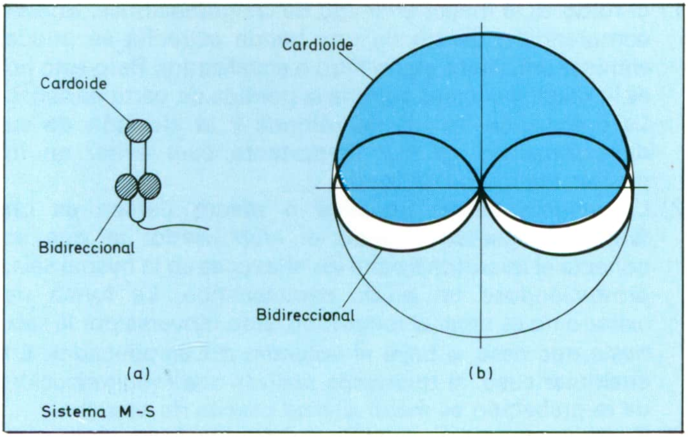


Figura 54. El sistema X–Y es el más empleado por los aficionados a la grabación estéreo. Los micrófonos quedan abiertos formando un ángulo de 90°.

Otro posible método, muy utilizado profesionalmente, es el llamado MS (*Mean Stereophonie*). Se emplean dos micrófonos: uno cardioide, que realiza la recaptación del sonido frontal y otro bidireccional girado 90° respecto al primero.

Hace poco tiempo han aparecido unas cabezas artificiales de tamaño natural que reproducen las condiciones de absorción de un auténtico oyente. En los oídos se sitúan micrófonos sujetos a unos auriculares, obteniéndose una grabación que simula perfectamente la que recibiría un oyente situado en la sala de grabación.

Para que el aficionado a las grabaciones obtenga la



El sistema MS conjuga las propiedades de un micrófono cardioide y otro bidireccional, colocados uno encima del otro, a fin de obtener el efecto espacial.

máxima satisfacción de sus registros es preciso observar ciertas normas básicas:



Los micrófonos utilizados en mesas de montaje y mezcla de radio y TV, deben ser, obviamente, de alta sensibilidad y fidelidad. No olvidemos que, la primera grabación tiene que ser lo más perfecta posible; luego, al emitirse vía herciana, o al reproducirse en copias comerciales, la calidad del sonido disminuye.

1) El ruido es el mayor enemigo de las grabaciones. Si está comprendido dentro de una banda estrecha se puede eliminar utilizando algún filtro o ecualizador. Pero esto no es lo usual y además supone la pérdida de parte de señal. La colocación de los micrófonos y la elección de su direccionalidad es muy importante para evitar en lo posible los ruidos de fondo.
2) La realimentación acústica o efecto Larsen es un fenómeno común cuando el amplificador al que se conecta el micrófono tiene los altavoces en la misma sala, produciéndose un pitido característico. La forma de evitarlo no es tapar el micrófono, sino moverse por la sala hasta que cese, o bajar el volumen del amplificador. En cualquier caso, si queremos realizar una monitorización de la grabación es mejor utilizar cascos de escucha.
3) Cuando empleemos micrófonos de mano es muy conveniente utilizar pantallas antiviento en exteriores, evitar los golpes en la carcasa y mantenerlo a una distancia constante de la fuente de sonido (entre 30 ó 60 cm).

La grabación puede verse favorecida si se emplean algunos complementos. Así, para conseguir captar sonidos distantes se pueden utilizar los llamados concentradores de sonido, que son superficies reflectoras con forma parabólica o elipsoidal. En el foco del concentrador se coloca el micrófono que recibe el sonido y las reflexiones de éste en la pantalla (figura 48).

Cuando se trabaja en exteriores estamos exponiendo nuestros micrófonos a la intemperie y es preciso protegerlos adecuadamente. Las pantallas antiviento están fabricadas con un material esponjoso especial, permeable a los sonidos directos. Una esponja bien dimensionada puede reducir en 20 dB el ruido causado por el viento.

Los soportes deben aislar al micrófono de todos los ruidos y golpes, además de sujetarlo firmemente. Se distinguen los tipos de pie, de sobremesa y de jirafa.

Finalmente, uno de los problemas más comunes que se presenta en el manejo de los distintos micrófonos es la diversidad de conectores empleados por los distintos fabricantes. En los micrófonos independientes la base está formada por un conector tipo CANNON, donde se enchufa el cable correspondiente. En el plano no profesional destacan el jack (con dos conectores) de 6,3 ó 3,5 mm y el conector tipo DIN, de tres o cinco patillas.